



Universidad de Cantabria  
Facultad de Filosofía y Letras  
Grado en Geografía y Ordenación del Territorio

Análisis y caracterización de las sequias en Bulgaria

*“Analysis and characterization of droughts in Bulgaria”*

Autor: Hristina Georgieva Ilieva

Director: Domingo Rasilla Álvarez

Curso: 2017-2018 / 12 de septiembre de 2018

## ÍNDICE

RESUMEN Y PALABRAS CLAVE	Página 3
1.INTRODUCCIÓN	Página 4
1.1. LA SEQUÍA	Página 4
1.2. AREA DE ESTUDIO	Página 8
1.3. OBJETIVOS	Página 15
2. FUENTES DE INFORMACIÓN	Página 16
3. METODOLOGÍA	Página 17
4. RESULTADOS	Página 19
4.1. EVOLUCIÓN CLIMÁTICA DE BULGARIA EN EL S. XX	Página 19
4.2. EVOLUCIÓN DE LA SEQUÍA EN BULGARIA A PARTIR DEL ÍNDICE SPEI	Página 21
4.3. ANÁLISIS DE LOS EPISODIOS DE SEQUÍA MÁS RELEVANTES	Página 22
4.3.1. SEQUÍA DE 1999-2002	Página 23
4.3.2. SEQUÍA DE 2006-2009	Página 26
4.3.3. SEQUÍA DE 2011-2014	Página 28
4.4. IMPACTOS	Página 32
4.4.1. IMPACTOS EN LA AGRICULTURA	Página 32
4.4.2. LOS INCENDIOS FORESTALES	Página 39
4.4.3. RECURSOS HIDRICOS	Página 42
5. CONCLUSIONES	Página 46
6. BIBLIOGRAFÍA	Página 47
2. ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS.	Página 49

## **RESUMEN**

El objetivo de este estudio es analizar los episodios de sequía en Bulgaria y sus impactos sobre sectores vulnerable, como el agrario o los recursos hídricos, mediante el uso del índice “Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index” (SPEI). Los resultados confirman una tendencia hacia un incremento de la duración y magnitud de las sequías desde la 2º mitad del s. XX, resultado de una disminución de las precipitaciones y un aumento de las temperaturas. Los tres episodios de sequía más intensos y continuados de todo el periodo estudiado han ocurrido entre 2000 y 2015. La sequía es el resultado del predominio de situaciones atmosféricas estables, cálidas y secas. El impacto de las sequías en la producción agraria de Bulgaria es considerable, evidenciado por anomalías negativas intensas en la productividad vegetal y en los rendimientos de las cosechas. Igualmente, el caudal de los ríos de Bulgaria está estrechamente relacionado con el signo y la magnitud del índice SPEI, coincidiendo los episodios de sequía con una disminución apreciable del caudal de los ríos, y con una caída en la producción de energía hidroeléctrica.

**Palabras clave:** Bulgaria, sequía, impactos.

## **ABSTRACT**

The objective of this study is to analyze the drought episodes in Bulgaria and their impacts on vulnerable sectors such the agricultural sector and the water resources, through the use of the "Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index" (SPEI). The results confirm a trend towards an increase in duration and magnitude of droughts from the 2<sup>nd</sup> half of the 20th century onwards, resulting from a decrease in rainfall and an increase in temperatures. The three most intense and continuous drought episodes of the entire period studied have occurred between 2000 and 2015. Drought is the result of the predominance of stable, warm and dry atmospheric conditions. The impact of droughts on Bulgaria's agricultural production is considerable, evidenced by intense negative anomalies in plant productivity and crop yields. Likewise, the Bulgarian riverflows are closely related to the sign and magnitude of the SPEI index, coinciding drought episodes with a significant decrease in river flow, and with a drop in the production of hydroelectric energy.

**Keywords:** Bulgaria, drought, impacts

## **1. INTRODUCCIÓN**

El agua es un elemento clave para garantizar la supervivencia y el desarrollo de la vida humana, animal y vegetal, así como de multitud de procesos económicos y medioambientales (Black, 2005). El consumo de recursos hídricos aumenta día tras día y, sin embargo, no sólo es la cantidad sino su calidad y accesibilidad lo que genera el problema de la escasez (Naredo, 2006). El agua es un recurso limitado y cuya distribución espacial y temporal es muy variable, por lo que su disponibilidad representa un problema en numerosos países. Diferentes previsiones anuncian un empeoramiento de las condiciones de abastecimiento de agua, particularmente en el este y sur de Europa, área especialmente vulnerable frente a la variabilidad climática y a los efectos de las sequías. El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (UNDP) determinó que unos 220 millones de personas se encuentran afectadas anualmente por situaciones de sequía, extendiéndose por una tercera parte del planeta (Ruiz y Febles, 2004), lo que le convierte en un problema de alcance global.

Las sequías son un fenómeno de gran repercusión, aunque su tipología, incidencia y evolución es variable según el ámbito geográfico. Las sequías afectan tanto a regiones húmedas como a áreas más secas, aunque una de las zonas más afectadas es el ámbito mediterráneo. Pese al gran número de estudios sobre la sequía, aún no se ha desarrollado una metodología unificada para su estudio debido a la complejidad del fenómeno y diversidad de manifestaciones e impactos.

En Bulgaria, el desarrollo económico de los últimos 30 años incrementó el consumo de agua sobre todo para la agricultura, y para el resto de los sectores económicos. Las exigencias de la población sobre el territorio son las que transforman la posible escasez de origen climático, en escasez social y con afectación a la población del país.

### **1.1 LA SEQUÍA**

La sequía es un riesgo natural, es decir, un fenómeno natural que ocasiona efectos negativos sobre el medio y las actividades humanas. Los procesos que se encadenan en las sequías son muy complejos, ya que éstos no sólo son dependientes de la variabilidad atmosférica, sino también de otros procesos naturales y humanos. Las sequías son el riesgo natural que afecta a mayor número de personas (Obasi, 1994) y quizás el más peculiar, ya que se diferencia en varios aspectos fundamentales:

1. El comienzo y final de una sequía son difíciles de determinar.
2. La magnitud de sus impactos crece lentamente y se pueden acumular durante largos periodos de tiempo, llegando a durar meses e incluso años.
3. Las consecuencias de las sequías se extienden a lo largo de grandes áreas geográficas.
4. Al contrario de lo que sucede con otros riesgos naturales como inundaciones, terremotos, tornados, tsunamis...etc., sus efectos son difusos.

Como consecuencia de ello, la cuantificación de sus impactos resulta más dificultosa en comparación con otros riesgos naturales (Wilhite, 2000); además, determinadas actividades humanas (riego excesivo, deforestación, sobreexplotación de recursos hídricos) pueden incrementar sus efectos y, en casos extremos, detonar episodios de sequía.

No existe consenso de una definición universal de la sequía, pese a que muchos autores han intentado proporcionar una que permita identificarlas y delimitarlas en el tiempo y en el espacio. La OMM (1990) señala que es *“un período de condiciones meteorológicas anormalmente secas, suficientemente prolongado como para que la falta de precipitaciones cause un grave desequilibrio hidrológico”*. Por su parte Palmer (1965) estableció que es *“un periodo de tiempo, generalmente de orden de meses o años de duración, durante los cuales la disponibilidad de humedad en un lugar dado consistentemente está por debajo de lo esperado climáticamente o de la disponibilidad de humedad apropiada para ese clima”*. Gibbs y Maher (1967) establecieron que es *“una falta de agua suficiente para satisfacer las necesidades, o los requerimientos dependientes de la distribución de plantas o población de animales o humana, su estilo de vida y el uso que hacen de la tierra”*.

A pesar de la gran variedad de definiciones ofrecidas, las sequías han sido clasificadas en cuatro categorías dependiendo del sistema afectado (Wilhite y Glantz, 1985):

- **La sequía meteorológica** es un periodo continuo de precipitaciones por debajo de lo normal. Esta sequia está asociada a una región específica, ya que las condiciones atmosféricas que producen un déficit de precipitación son muy variables de una región a otra. La sequía meteorológica suele combinarse con un aumento de las temperaturas y una mayor insolación, que intensifican la evaporación, y como consecuencia, aceleran los déficits hídricos (disminución de las tasas de infiltración, de escorrentía y menor recarga de las aguas subterráneas de la zona), y si es muy

persistente, causa efectos negativos sobre el suelo ya que conlleva su desecación y afecta directamente a la producción de los diferentes tipos de cultivos.

- **La sequía agrícola** se define como un periodo prolongado que perturba el equilibrio hídrico en el suelo y la actividad fisiológica de la vegetación, por lo cual su rendimiento y estado se deterioran. Para este tipo de sequía no se puede establecer un umbral, ya que cada planta necesita una humedad diferente, y esta humedad varía a lo largo del crecimiento de dicha planta. Además, puede ocurrir a lo largo de diferentes épocas del año, y se evidencia tras la sequía meteorológica, ya que la demanda de agua de las plantas y los cultivos dependen en gran medida de las condiciones de humedad previa y del ciclo vegetativo de las mismas. Ha de tenerse en cuenta que, si los niveles de humedad del subsuelo son capaces de proporcionar la cantidad suficiente de agua a un cultivo, mientras dure el periodo de la sequía meteorológica no se va a producir una sequía agrícola.
- **La sequía hidrológica** se define como un periodo de tiempo prolongado que da lugar a deficiencias en las disponibilidades de agua superficial y subterránea. Esta escasez se refleja en una disminución de los niveles de agua en embalses, ríos o lagos y los niveles de las aguas subterráneas. Es simultánea a la sequía agrícola y puede persistir más tiempo, aun cuando la sequía meteorológica haya finalizado.
- **La sequía socioeconómica** se define como una disponibilidad de agua insuficiente para cubrir las necesidades económicas y sociales de las personas, hasta el punto de producir daños tanto económicos como personales en una zona determinada. Se tiene que tener en cuenta que para que se produzca este tipo de sequía es suficiente que algún sector económico se vea afectado por la escasez de agua, y que sufra unas pérdidas económicas bastante importantes.

Las consecuencias de las sequías son diversas y sobre todo afectan con mayor intensidad y con efecto más negativo sobre aquellos espacios en los que la precipitación anual es muy escasa.

- Económicas: pérdida de cosechas, reducción de la producción agrícola, incremento de las importaciones de alimentos y piensos, reducción de la producción de energía hidroeléctrica, etc.

- Sanitarias: aparición o reaparición de plagas, empleo de aguas residuales no depuradas para el regadío agrícola, disminución en la frecuencia e intensidad de la limpieza del viario público, etc.
- Sociales: emigración de la mano de obra del campo, malnutrición y hambruna de las sociedades más deprimidas, recortes en el abastecimiento de agua potable a la población, etc.
- Medioambientales: incremento del riesgo de incendio de los espacios forestales, sobreexplotación de acuíferos, extracción abusiva de las aguas subterráneas y dificultad de recarga aparejada, pérdida de biodiversidad, mortandad de peces y otras especies acuícolas por la disminución de caudales, etc.

Si bien el ser humano puede variar muy poco la intensidad de fenómenos naturales como las sequías, tiene un papel fundamental procurando que esos eventos naturales no se conviertan en catástrofes por la propia acción humana. A medida que la sociedad se vuelve más desarrollada dispone de más recursos para invertir en algún grado de protección y es allí donde los efectos negativos de los fenómenos de las sequías pueden ser reducidos, debido a herramientas que garantizan una seguridad mayor para la población. No obstante, en los países menos desarrollados, carentes de recursos y de sistemas de prevención y aviso, esta es una tarea difícil y muy costosa. Con todo ello, Bulgaria ha sido un país no muy desarrollado hasta hace pocos años y esto justifica la presencia de estas sequías y todos los efectos negativos e impactos que causan ya que el país se está desarrollando poco a poco pero todavía hoy en día no cuenta con las medidas y proyectos suficientes para garantizar la protección óptima a su población frente a estos fenómenos naturales.

La complejidad del fenómeno sequía radica, en parte, en que no existe una única variable física que sirva para cuantificar el fenómeno ni un índice aceptado de manera generalizada (Vicente-Serrano et al., 2012). Algunos de los índices más comunes son los deciles de precipitación, el porcentaje de precipitación normal (PPN), el Índice de Precipitación Estandarizada (SPI, Standardized Precipitation Index; McKee et al., 1993) o el Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI; Palmer, 1965). A través ellos, los investigadores pueden estimar las características más relevantes de una sequía (Figura 1):

- Duración: período durante el cual el índice se encuentra por debajo de un umbral seleccionado.

- Intensidad: promedio de valores del índice durante el período en que el mismo está por debajo del umbral seleccionado.
- Magnitud: acumulación del déficit por debajo del umbral seleccionado durante el período de la sequía – se estima como el producto de la duración y la intensidad.
- Recurrencia: tiempo desde el inicio de un episodio hasta el siguiente.

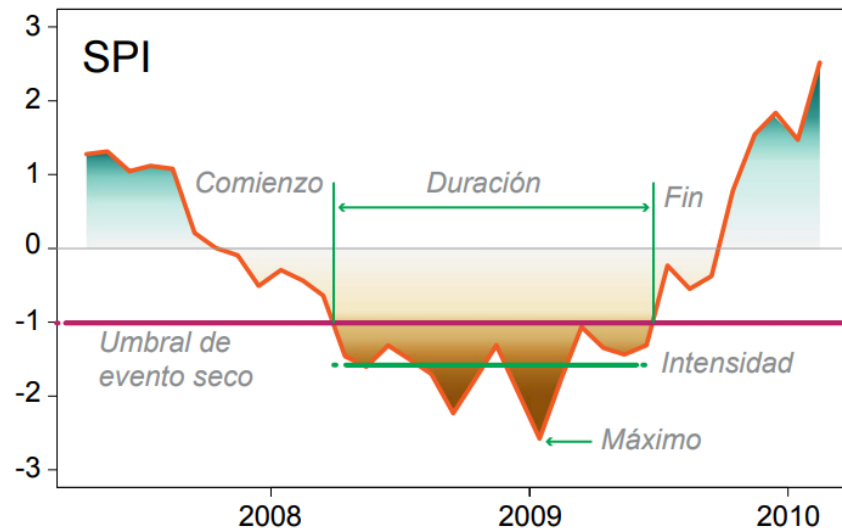


Figura 1: Parámetros descriptivos de las sequías

Dado que un evento de sequía generalmente afecta simultáneamente áreas que se extienden más allá de una única estación meteorológica, otro parámetro a tener en cuenta para caracterizarla es la extensión del área bajo sequía.

Junto a los índices clásicos, desarrollados a partir de la información numérica proporcionada habitualmente por las redes meteorológicas, se han elaborado otros a partir de imágenes de satélite, que pueden ser usados para la monitorización en tiempo real de las sequías. Son combinaciones de las bandas espectrales registradas por los satélites, que, en función de la respuesta espectral de los diferentes componentes del medio geográfico, realzan la cubierta vegetal y atenúan otros componentes, como el suelo, la iluminación, etc. Se fundamentan en que la vegetación sana y verde refleja mucha menos radiación en la banda visible roja (banda R), región de absorción de la clorofila, que en la banda del infrarrojo cercano (banda IR), región de alta reflectancia del componente celulósico. Cuando la vegetación sufre estrés, los valores de la banda R aumentan y los de la banda IR decrecen. El índice de vegetación normalizada (NDVI) es uno de los más utilizados para evaluar el estado de la vegetación, así como para estudiar la clasificación y dinámica vegetal y sus aspectos fenológicos (Rouse et al, 1973). Se obtiene mediante la siguiente ecuación



$$NDVI = (\text{banda IR} - \text{banda R}) / (\text{banda IR} + \text{banda R})$$

Los valores de NDVI oscilan entre 0.1 (Zonas desérticas con vegetación escasa) hasta 0.9 (Bosques tropicales con alta densidad de vegetación).

## 1.2 AREA DE ESTUDIO

Bulgaria es un país miembro de la Unión Europea, situado al SE del continente europeo. Su superficie es de 110879 km<sup>2</sup> y su población supera los 7 millones de habitantes. Debido a su localización en la Península Balcánica, es un país con una gran diversidad topográfica (las llanuras ocupan un 30% de la superficie, las montañas otro 30 % y las colinas y mesetas el 40 %). En líneas generales, el relieve está conformado por una serie de unidades orientadas NW-SE y W-E, , salvo en la zona SW (Figura 2). De N a S se suceden: la Llanura Danubiana, la cordillera de los Balcanes (llamados localmente Stara Planina), la Llanura de Tracia Superior, la alineación formada por los montes Rila (con el pico más alto de Bulgaria, Musala, 2925 mts), Pirin y Ródope, y el valle del Río Struma.



Figura 2: Mapa topográfico de Bulgaria

Desde el punto de vista climático, Bulgaria también muestra una gran heterogeneidad, ya que la diferente combinación de factores como el relieve, la altitud o la latitud, entre otros, condicionan la influencia de las diferentes masas de aire y, por tanto, el régimen de precipitaciones y de temperaturas.

Su posición latitudinal (entre 41° y 44° de latitud norte) implica una sucesión estacional característica y el que quede bajo el influjo de la circulación típica de latitudes medias, caracterizada por una sucesión diaria y estacional de situaciones atmosféricas. El factor

geográfico más importante a la hora de explicar la diversidad climática de Bulgaria es el relieve. La disposición NW-SE de las montañas limita la propagación de las masas de aire atlánticas y mediterráneas hacia el interior de Bulgaria, causando bruscos contrastes en el tiempo y en el clima en cortas distancias. Particularmente efectivo es el papel de los Balcanes, ya que impide el paso de las masas continentales hacia el S y el de las mediterráneas hacia el N; como consecuencia, la Llanura Danubiana es 1°C más fría que la Llanura de Tracia (Figura 3). Por su parte, el macizo de Rilo-Rhodope limita la influencia propiamente mediterránea a los sectores meridionales de los valles del Struma, Mesta, Maritsa y Tundzha. La influencia del Mar Negro está relativamente limitada a la franja costera, especialmente en verano, a través de fenómenos locales de recirculación (brisas marinas). El régimen de precipitaciones muestra claramente esta alternancia de influencias dinámicas: en el N de Bulgaria el mes más lluvioso es mayo o junio, mientras que en el S de Bulgaria es diciembre o enero.

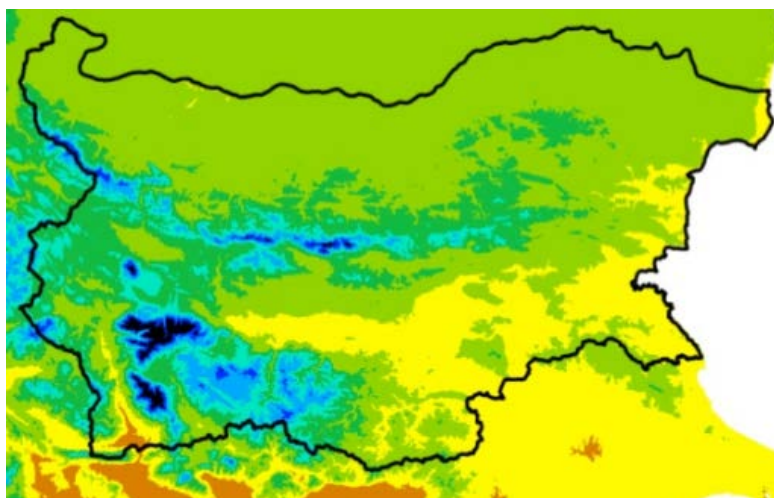


Figura 3: Temperatura media anual en Bulgaria. Fuente:  
[http://meteorology.meteo.bg/meteo\\_extremes\\_e.htm](http://meteorology.meteo.bg/meteo_extremes_e.htm)

El mapa de precipitaciones medias anuales (Figura 4) confirma el papel determinante de los factores dinámicos y geográficos antes mencionados. Por un lado, los enclaves más húmedos se sitúan sobre las montañas, con precipitaciones medias anuales superiores a 1000 mm, muchas en forma de nieve (Balcanes occidentales y Ródope); los más secos, con cantidades próximas a los 500 mm, se ubican en las llanuras o en el fondo de los valles. Este patrón altitudinal se complica con otro patrón conformado por un gradiente W-E, vinculado al efecto de la circulación del W, activa aún en los valles y montañas más occidentales, pero afectada por un “efecto Föhn” a medida que se traslada hacia el E del país. Por eso, las zonas

más secas se sitúan al NE y E del país, entorno a las llanuras de Dobrudzha, Varna y al área entre Plovdiv y Pazardzhik.

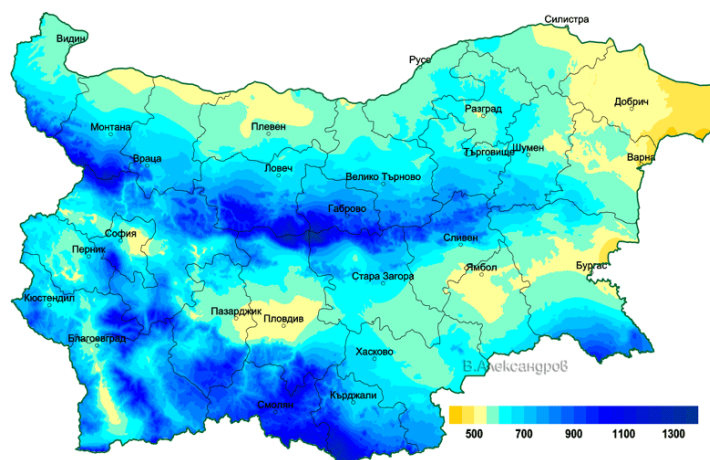


Figura 4: Precipitación media anual en Bulgaria. Fuente:  
[http://meteorology.meteo.bg/meteo\\_extremes\\_e.htm](http://meteorology.meteo.bg/meteo_extremes_e.htm)

Considerando su pequeño tamaño, Bulgaria tiene una gran diversidad climática. No obstante, se puede considerar que hay dos grandes tipos climáticos, separados por una zona intermedia (Figura 5).

- La Llanura Danubiana (Lom, Varna) está caracterizada por un clima continental, muy frío en invierno, pero más cálido en verano, como consecuencia del fácil acceso de las masas de aire provenientes del E, y precipitaciones en primavera.
- Gran parte del valle del Struma, (Sandarski) debido a su orientación favorable, disfruta de un clima mediterráneo, caracterizado por temperaturas más suaves, precipitaciones invernales y veranos secos.
- Entre ambas zonas, y con diferentes matices en función de la altitud y la orientación, se sitúa una amplia zona que comparte rasgos de ambos climas (Llanura de Tracia, cabeceras del Struma y del Mesta; Sofia, Burgas).
- El clima de montaña aparece por encima de los 1000 m, afectando a todas las montañas de Bulgaria.

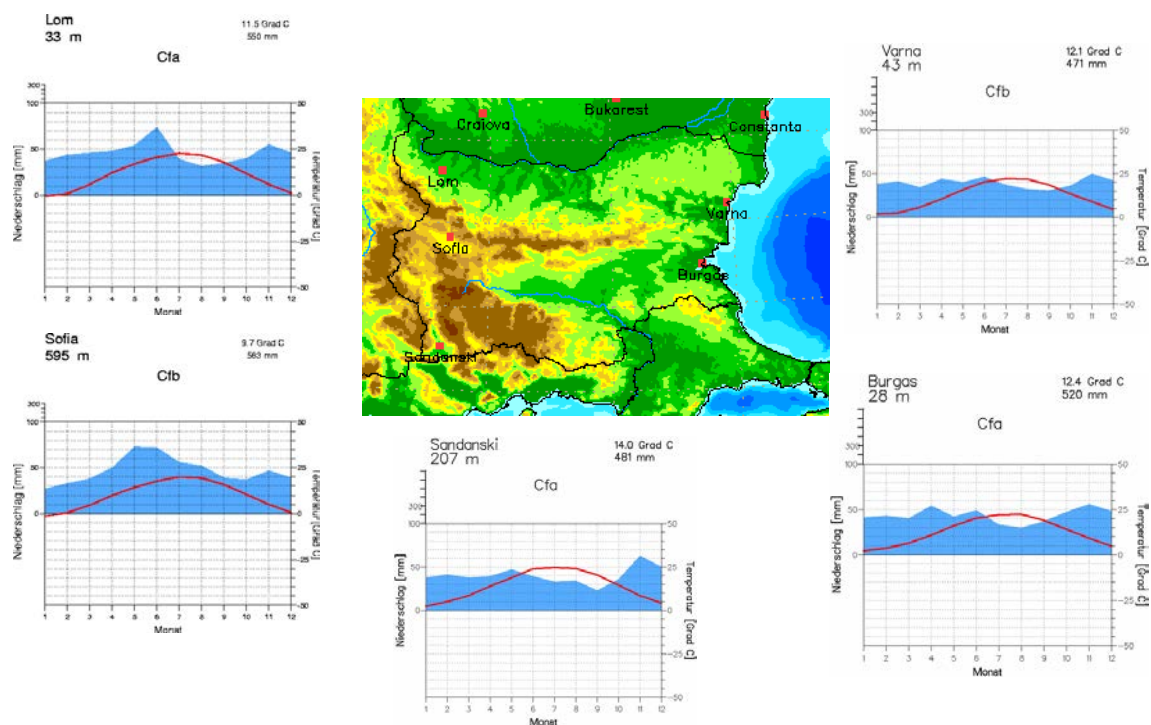


Figura 5: Climodiagramas correspondientes a las principales ciudades de Bulgaria. Fuente: <http://www.klimadiagramme.de/>

La cordillera de los Balcanes divide Bulgaria en dos grandes cuencas hidrográficas, una hacia el Mar Negro (que supone alrededor del 57% de todo el país) y otra hacia el Mar Egeo (43% del territorio). El principal sistema fluvial perteneciente a la cuenca del Mar Negro es el Danubio, cuya margen derecha corresponde a la Llanura Danubiana. El Danubio recibe poco caudal de sus tributarios búlgaros (menos del 5 % de su caudal), por lo que el periodo de aguas altas se sitúa en mayo. El Iskar, con una longitud de 368 km y una cuenca de 8640 km<sup>2</sup>, es el principal tributario del Danubio en territorio de Bulgaria. Su nacimiento se sitúa al S de la cordillera de Los Balcanes, que atraviesa mediante uno de los desfiladeros más largos de Europa; su origen está en las Montañas Riila. Otros importantes tributarios son el Lom, el Ogosta, el Vit, el Osam y el Yantra. Otros ríos fluyen directamente al Mar Negro; son el Kamchiya Batova y Provadiya. A la cuenca del mar Egeo pertenecen los ríos Maritza, que drena la Llanura Tracia, Struma y Mesta. La mayoría de los ríos de Bulgaria muestran un hidrograma caracterizado por aguas altas en invierno o primavera, y un periodo de estiaje, durante los meses de julio, agosto y septiembre. No obstante, pueden apreciarse diferencias en función de la altitud de la cuenca hidrográfica (que determina la importancia de la fusión nival); por ejemplo, ríos con un régimen claramente nivo-pluvial son el Lom y el Struma,

mientras que el Provadiya y el Ada, con cabeceras ubicadas a menor altitud, muestran un régimen con menor influencia de la nieve.

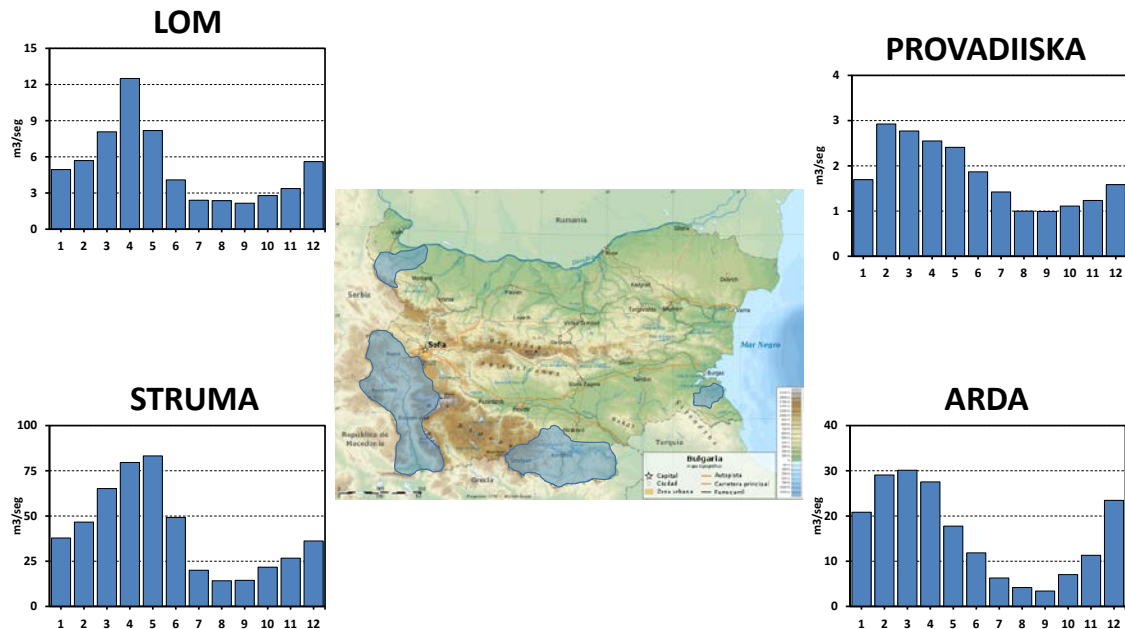


Figura 6: Regímenes fluviales de ríos de Bulgaria. Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (<http://www.meteo.bg/>)

Bulgaria ha experimentado un rápido crecimiento económico en los últimos años, a pesar de que sigue siendo el estado con menos ingresos de la Unión Europea. De acuerdo con los datos de Eurostat, en 2008 el PIB búlgaro era del 44% con respecto a la media europea, repartido de la siguiente manera: sector primario 4.3%, sector secundario 28% y sector terciario 67.7%. En relación con el porcentaje de población ocupada, el sector primario ocupa al 6.8%, el secundario al 26.6% y el terciario al 66.6%. A partir de la información recogida sobre Bulgaria, se pueden identificar la agricultura y los recursos hídricos (producción energética) como los dos sectores más condicionados por la sequía.

El sector primario, y en particular, la agricultura, experimentó profundos cambios como consecuencia de los cambios políticos ocurridos a lo largo de los 90. En contraste con el sector industrial, la agricultura experimentó un notable retroceso: en 2008, la producción agrícola total sólo representaba el 66% de lo producido en años a comienzos de la década de los 90. Ello tiene su origen en el paso de una agricultura planificada, centralizada y dependiente de la industria, durante el régimen comunista, a una agricultura privatizada y orientada hacia una economía de mercado globalizada, simultánea a una inestabilidad

política. Actualmente, el 46.9% de la superficie agraria está conformada por campos de cultivo y pastos, y el 36,7% por bosque. La mayor parte de las tierras de cultivo está dedicada a la producción de cereales (trigo, cebada, maíz) o a cultivos industriales (remolacha azucarera, girasol, tabaco); la primera ha ascendido un 11% desde 2003, mientras que la superficie dedicada a cultivos industriales creció más del 30% durante el mismo periodo, en particular cultivos como la lavanda o las rosas para la industria de perfumes. La mayor parte de las tierras de cultivo no están en regadío (no llegan al 1%). La mayor concentración de actividades agrarias se produce en la llanura del Danubio, llanuras de Tracia, valle del Maritza y costas del Mar Negro. El área ocupada por pastos se ha incrementado notablemente desde comienzos del siglo XXI, pasando de 107390 has en 2003 a 382020 has en 2010, lo que equivale al 8,7% de la superficie agraria del país. La superficie ocupada por bosques es, en su mayor parte, coníferas (40 %), superficie que se ha mantenido estable en los últimos decenios, ya que sólo aumento un 4,6 % entre 1980 y 2000. Aproximadamente el 7,5 % de los bosques están nominalmente protegidos, mientras que el 65 % está encaminada a la producción de madera para usos consuntivos y comerciales. Una gran parte de la madera extraída de los bosques está encaminada a su uso particular como combustible (alrededor del 44 %), mientras que sólo el 20 % se dedica a la fabricación industrial de pulpa de madera.

En 2006 la cantidad de agua extraída para distintos fines fue 6559 millones de m<sup>3</sup>, repartido entre el agua extraída de cauces y lagos superficiales (90 %), acuíferos subterráneos (9 %) y otros (1%). La mayoría de esta agua se ha extraído del Danubio (50 %). La mayor parte de esta agua se utiliza como refrigerante en la producción de energía nuclear (4/5 partes); del resto, el 11 % es usado para la industria, un 4 % para consumo humano y un 3 % para regadíos. Este consumo de agua duplica la media de los países más desarrollados, dado que hasta el 50 % se pierde antes de su uso final. Por lo tanto, cabe señalar la importancia del agua en la producción de energía e, igualmente, la estrecha dependencia de la agricultura con relación a las condiciones atmosféricas (Figura 7).

Bulgaria es un país con pocas reservas de combustibles fósiles, por lo que las principales fuentes de energía son la nuclear y, recientemente, la importación de gas procedente de Rusia. En el caso de la energía nuclear, una sola central nuclear, construida con tecnología ya anticuada (mediados de los 70) y con 4 de sus 6 reactores inactivos, satisface el 34% de las necesidades energéticas del país; otra central está en construcción, aunque los plazos se



han dilatado en los últimos años. Aunque la producción de electricidad mediante energía nuclear es independiente de las condiciones atmosféricas, el refrigerado de los reactores requiere gran cantidad de agua, cuyo suministro puede sufrir alteraciones si entra en competición con otras demandas de agua, como el uso agrícola o doméstico, durante episodios de sequía. Por otro lado, el suministro de gas desde Rusia está sometido a tensiones políticas, que en caso extremo podrían suponer el cierre parcial o total de esta fuente de energía. La producción de energía renovable, bien hidroeléctrica, bien mediante aerogeneradores, ha experimentado en los últimos años un aumento significativo, pero aún no es una alternativa viable en el caso de fallo de las otras fuentes de energía.

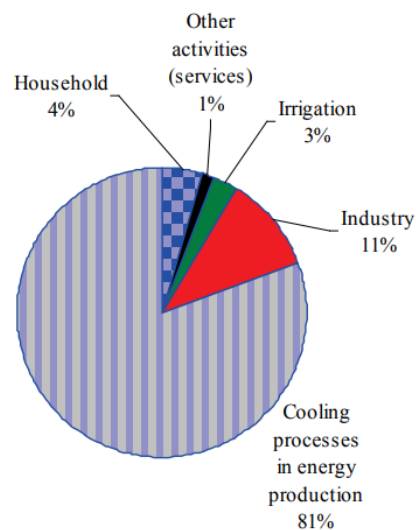


Figura 7: Porcentaje de uso de agua en los diferentes sectores en Bulgaria. Fuente: Galia Bardarska y, Hristo Dobrev: Challenges for Drinking Water Quality in Bulgaria. , <http://www.solvo.bg/wp-content/uploads/DrinkingWater07122008.pdf>

### 1.3 OBJETIVOS

El objetivo fundamental de este trabajo es analizar la evolución de la sequía meteorológica en Bulgaria y sus impactos sobre dos sectores fundamentales: la agricultura (sequía agrícola) y los recursos hídricos (sequía hidrológica). Objetivos complementarios son evaluar la fiabilidad del índice de sequía SPEI en un ámbito climático de transición, como es el territorio de Bulgaria, así como analizar las causas atmosféricas que provocan episodios de sequía meteorológica en dicho país.

## 2. FUENTES DE INFORMACIÓN

Para la realización de este trabajo se han empleado fuentes de información de origen y características diferentes.

La precipitación y temperatura media anual correspondientes a Bulgaria se elaboraron a partir de la base de datos *University of Delaware Temperatura and Precipitation dataset* ([http://climate.geog.udel.edu/~climate/html\\_pages/Global2011/README.GlobalTsT2011.html](http://climate.geog.udel.edu/~climate/html_pages/Global2011/README.GlobalTsT2011.html)).

El índice de sequía SPEI se ha obtenido de la página web <http://spei.csic.es/index.html>. En su cálculo interviene el balance hídrico, combinando valores de precipitación y evapotranspiración potencial (Vicente-Serrano et al., 2010). Para el cálculo de esta última variable se aplica la ecuación de Hargreaves (Hargreaves y Samani, 1985), utilizando valores medios mensuales de temperatura máxima y mínima, y radiación, a su vez resultado de la ecuación modificada por Droogers y Allen (2002), que estima la radiación en base a latitud y mes del año (Beguería et al., 2013). El SPEI es un índice multiescalar, siendo las escalas temporales más utilizadas las que varían entre 1 y 24 meses; las escalas más cortas muestran mayor variabilidad del índice, mientras que las escalas más largas tienen un comportamiento más suavizado. Al igual que otros índices, el SPEI cuantifica las condiciones de exceso o déficit hídrico a partir de una serie de valores normalizados. Esto permite cuantificar y delimitar los episodios de sequía, tal y como se ha señalado en la tabla 1. Los valores recomendados son los siguientes:

CATEGORÍA	SPEI
Sequía extrema	$\text{SPEI} \leq -1,5$
Sequía severa	$-1,5 < \text{SPEI} \leq -1,0$
Sequía moderada	$-1,0 < \text{SPEI} \leq -0,5$
Condiciones normales	$-0,5 < \text{SPEI} \leq 0,5$
Moderadamente húmedo	$0,5 < \text{SPEI} \leq 1,0$
Severamente húmedo	$1,0 < \text{SPEI} \leq 1,5$
Extremadamente húmedo	$\text{SPEI} \geq 1,5$

Tabla 1: Categorización de los episodios secos del índice SPEI. Fuente: <http://sac.csic.es/spei/>.

Los mapas de anomalías de la temperatura y de la precipitación durante los periodos correspondientes a condiciones de sequía fueron extraídas de las páginas web



[https://climatereanalyzer.org/reanalysis/monthly\\_maps/](https://climatereanalyzer.org/reanalysis/monthly_maps/). Por su parte, los mapas de anomalías de la presión atmosférica son proporcionados por la página web <http://www.esrl.noaa.gov/psd/> (NOAA/ESRL Physical Sciences Division, Boulder Colorado).

Tanto los mapas como los valores numéricos del índice NDVI se han extraído de la base de datos <https://glam1.gsfc.nasa.gov/>, perteneciente a Global Agricultural Monitoring.

Los rendimientos agrarios de cereal y la producción eléctrica provienen de la base de datos <https://www.indexmundi.com/facts/bulgaria/>. La superficie quemada según países proviene de la base de datos European Fire Database (<http://effis.jrc.ec.europa.eu/applications/data-and-services/>), mientras los focos de incendios forestales fueron descargados del Fire Information for Resource Management System (FIRMS; <https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/firms>).

### **3. METODOLOGÍA**

Para la realización del siguiente trabajo, se ha seguido una metodología que incide primero en lo general para centrarse en aspectos particulares. En este sentido, la primera fase consistió en analizar la evolución del clima de Bulgaria a lo largo del s. XX, para encuadrar el fenómeno de las sequías en un marco general más amplio.

A partir de esa fase inicial, se analizaron los valores del índice SPEI, para identificar los periodos de sequía y caracterizarlos tanto por su magnitud (valor mínimo del índice), duración (comienzo y final, número de meses) y amplitud espacial (a través de la representación gráfica del índice SPEI. Las características climáticas (precipitación y temperatura) y la circulación atmosférica correspondiente fueron analizadas mediante mapas de anomalías, que consisten en la representación de las diferencias entre los valores de cada uno de los episodios analizados y los valores medios del periodo 1981-2010 (normales climatológicas).

Por último, se cuantificaron los impactos que producen las sequías en el país en sectores seleccionados (agrario y recursos hídricos), comparando la evolución temporal del índice SPEI, correspondiente a 12 meses, con los valores correspondientes al índice NDVI, los rendimientos agrarios, el caudal de los ríos y la producción hidroeléctrica. Esta comparación fue a la vez cualitativa (gráficos) y cuantitativa (mediante el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson).

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Evolución climática de Bulgaria en el s. XX

El primer paso de este estudio consiste en analizar la evolución climática de Bulgaria a lo largo del s. XX, en particular aquellas variables que, como temperatura y precipitación, son la base para la elaboración del índice de sequía SPEI. Este análisis inicial permitirá acotar la evolución de las sequías en Bulgaria y evaluar las posibles causas de esa evolución. La figura 8 representa la evolución de las precipitaciones anuales promediadas para el conjunto del país desde el año 1900 hasta el año 2010 (línea fina), junto con la media móvil con un paso de 13 años (línea gruesa) para suavizar su variabilidad interanual, al igual que el promedio a largo plazo (línea gruesa a trazos). El primer aspecto reseñable es la elevada variabilidad interanual de las precipitaciones. Por ejemplo, en los años más lluviosos casi se alcanzan los 800 mm anuales (1915, 1955, 1966, 2005, 2010), mientras que en los años con menos precipitaciones no es infrecuente registrar valores ligeramente superiores a los 400 mm anuales (1945, 1985, 1990, 1992, 2000). En general, hasta los años 80 no se observa una tendencia definida en las precipitaciones; existen una serie de ciclos en los que las precipitaciones estuvieron por encima o por debajo de lo normal, con una periodicidad aproximada de 20 años; sin embargo, a partir 1975 se aprecia una brusca y significativa reducción de la cantidad de las precipitaciones, cuyo mínimo absoluto se sitúa en la década de los 90.

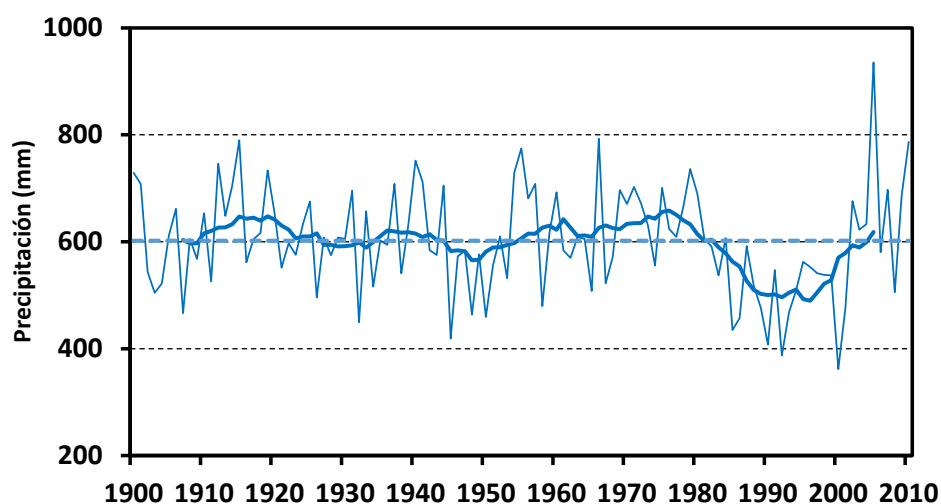


Figura 8: Evolución de las precipitaciones en Bulgaria entre 1900 y 2010. Fuente: University of Delaware Air Temperature & Precipitation Dataset versión 3.01 ([https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.UDel\\_AirT\\_Precip.html#detail](https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.UDel_AirT_Precip.html#detail))

La figura 9 reproduce la evolución de las temperaturas medias anuales promediadas para toda Bulgaria durante el periodo 1900-2010, su correspondiente media móvil de 13 pasos y su valor medio a largo plazo. También las temperaturas experimentaron una notable variabilidad a lo largo del periodo de análisis, con un comportamiento cíclico cuyas fases no coinciden con las de las precipitaciones. Así, entre 1900 y 1920 se asiste a un periodo con temperaturas inferiores al promedio a largo plazo, mientras que el periodo 1920-1935 conforma un periodo relativamente cálido, en el que se registran algunos años muy cálidos (1916 y 1923, con 11,1 y 11,2°C) que no se repetirán hasta los primeros años del s. XXI. A partir de esa fecha, se suceden una serie de años muy fríos (1933 es el año más frío de todo el registro, con 8,6°C), que concluyen en una fase poco definida, entre 1950 y 1970. Las décadas de los años 70 y 80 constituyen otra fase fría, aunque resalta la escasa diferencia entre los años fríos y cálidos de ese periodo, a diferencia de lo que ocurrirá desde la década de los años 90. En esta se asiste a un aumento sostenido de las temperaturas, aunque su variabilidad es casi tan elevada como a comienzos de siglo. Por ejemplo, la temperatura media en 1997 cayó hasta los 9,3°C, pero en 1994 ascendió hasta los 11,4°C. Este periodo del siglo XXI ha registrado, además, los tres años más cálidos de toda la serie: el citado 1994, 2001 y 2007. Dado que se carece de datos con posterioridad a esta fecha, no se puede asegurar si, como ha ocurrido a escala global, la década entre 2011 y 2018 también es la más cálida en Bulgaria desde que existen registros instrumentales.

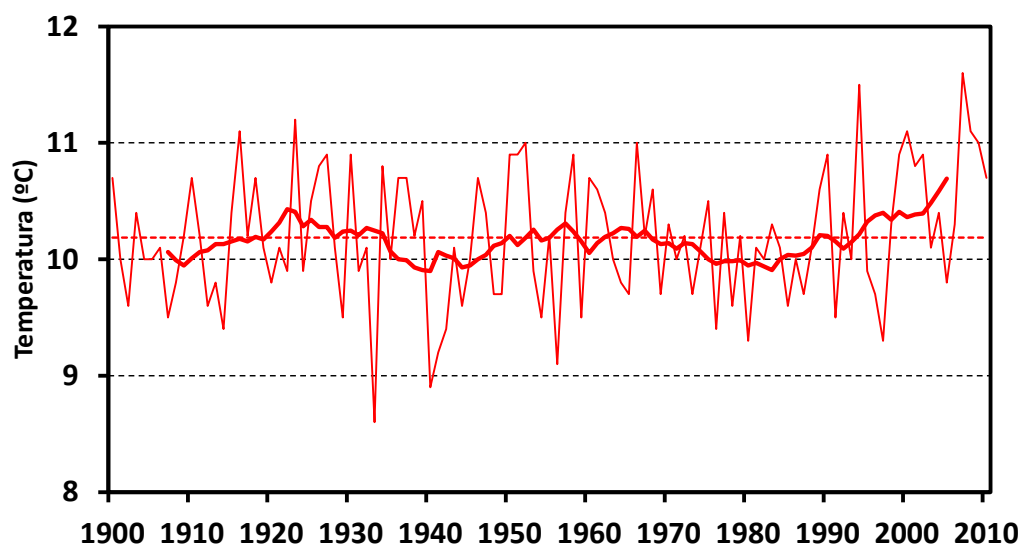


Figura 9: Evolución de las temperaturas en Bulgaria entre 1900 y 2010. Fuente: University of Delaware Air Temperature & Precipitation Dataset versión 3.01  
([https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.UDel\\_AirT\\_Precip.html#detail](https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.UDel_AirT_Precip.html#detail))

En resumen, analizados los gráficos de la evolución tanto de la precipitación como de temperatura, se observa como en ambos casos un aumento de las temperaturas y una disminución de las precipitaciones a partir de la década de los años 80 del siglo XX.

#### 4.2. Evolución de la sequía en Bulgaria a partir del índice SPEI

La evolución del índice SPEI (escala de 12 meses) para Bulgaria durante el periodo 1951-2015 confirma las afirmaciones anteriores, percibiéndose dos periodos claramente distintos. Durante el primero, desde 1951 a 1980, predominan los valores positivos (línea azul) lo que indica la prevalencia de condiciones húmedas; durante el segundo periodo, desde 1981 hasta 2015, abundan los valores negativos (color naranja), que indican unas condiciones más secas. La tendencia general del índice a lo largo de todo el periodo es hacia valores negativos, que persisten más tiempo y son cada vez más bajos, lo que indica sequías cada vez más largas y e intensas.

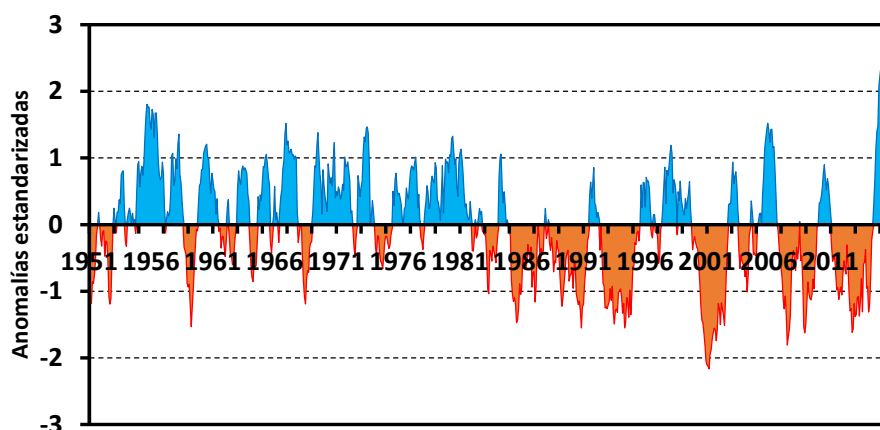


Figura 10: Evolución temporal del índice SPEI sobre Bulgaria entre 1951 y 2011.

La Tabla 2 resume las características temporales (periodo, mes de comienzo y final, duración) y la intensidad máxima de los periodos de sequía registrados en Bulgaria desde 1951. El mes de comienzo es el primer mes en el que el índice SPEI es inferior a -0,5, y el mes de final el último en el que se registra dicho valor. El periodo entre el mes de comienzo y de fin equivale a la duración total del episodio de sequía, y el valor del SPEI más bajo entre ambos límites es el de máxima intensidad. Obsérvese que las sequías con mayor duración e intensidad han tenido lugar siempre con posterioridad a 1980. Dos de ellas, entre 1992 y 1995 y 2011-2014 han superado los 40 meses, alcanzándose en la última un valor mínimo

inferior a -2, mientras que los restantes han alcanzado mínimos superiores a -1,5, umbral que identifica las sequías extremas.

Periodo temporal	Comienzo	Final	Duración (meses)	Intensidad máxima	Fecha (máxima)
1951	Enero	Septiembre	9	-1,243	Enero
1951-1952	Diciembre	Diciembre	13	-1,194	Septiembre
1958-1959	Septiembre	Octubre	14	-1,533	Abril
1962	Mayo	Noviembre	7	-0,599	Septiembre
1964	Enero	Agosto	8	-0,855	Abril
1967-1969	Diciembre	Enero	14	-1,192	Julio
1974-1975	Febrero	Julio	18	-0,663	Octubre
1982-1984	Noviembre	Febrero	16	-1,037	Mayo
1984-1987	Diciembre	Abril	38	-1,472	Septiembre de 1985
1987	Junio	Octubre	5	-0,563	Julio
1988-1991	Abril	Junio	39	-1,551	Noviembre de 1990
1992-1995	Agosto	Julio	40	-1,551	Mayo de 1994
1996-1997	Noviembre	Abril	6	-0,581	Febrero
2000-2002	Noviembre	Septiembre	36	-2,166	Marzo de 2001
2003-2004	Agosto	Julio	12	-0,781	Febrero
2006-2008	Octubre	Junio	19	-1,807	Julio de 2007
2008-2009	Agosto	Noviembre	16	-1,625	Diciembre de 2008
2011-2014	Febrero	Junio	41	-1,618	Octubre de 2012

Tabla 2: Resumen de las características temporales y la intensidad máxima de los periodos de sequía registrados en Bulgaria desde 1951.

#### 4.3 Análisis de los episodios de sequía más relevantes

Para un análisis y caracterización en profundidad de las sequías en Bulgaria se han seleccionado los tres últimos episodios desarrollados a lo largo del siglo XXI, que no sólo conforman alguno de las sequías más rigurosas de todo el periodo de análisis, sino que, además, a partir de ellas, podremos trabajos los impactos en diferentes sectores, al existir abundante información sobre ellos.

#### 4.3.1 Sequía de 1999-2002

La figura 11 muestra el primer episodio de sequía analizado, que comenzó en noviembre de 1999 y terminó en septiembre de 2002. Por sus características, puede calificarse de una sequía moderadamente larga (duración 36 meses), pero muy rigurosa, ya que la puntuación alcanzada por el índice SPEI fue inferior a -2, particularmente entre los meses de diciembre de 2000 y marzo de 2001. A diferencia de los otros episodios bajo análisis, presenta una evolución temporal en la que se alcanzó rápidamente su máxima intensidad (-2,166 en el mes de marzo de 2001), mientras que su salida fue lenta, al menos hasta mediados de 2002 (el valor de junio fue -1,515), para amortiguarse rápidamente. Este comportamiento temporal se explicaría por una casi ausencia de precipitaciones hasta 2001, y unas condiciones meteorológicas más próximas a las normales, en la segunda mitad del periodo.

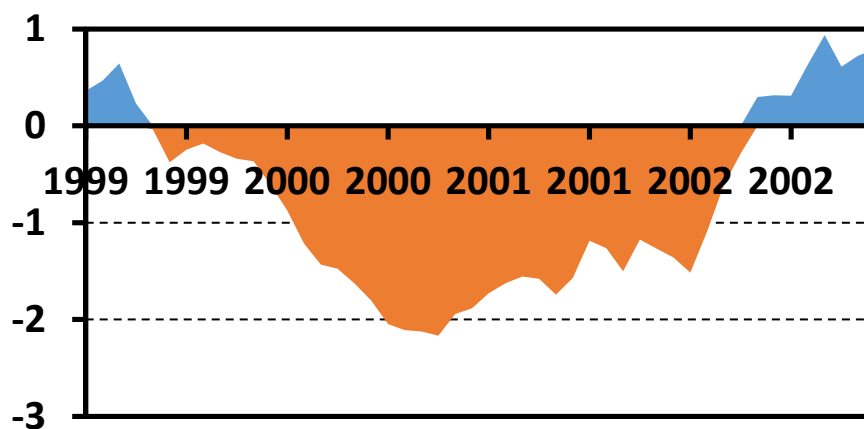


Figura 11: Evolución temporal del índice SPEI correspondiente al periodo 1999-2002.

La distribución espacial del índice SPEI en el momento de máxima intensidad de la sequía en Bulgaria (Figura 12, marzo de 2001) muestra no sólo la gran intensidad de dicho episodio, sino su gran homogeneidad y amplia repercusión, ya que no sólo afectó a los Balcanes, sino que se extendió por Turquía, Sur de Italia, N de África y Extremo Oriente.

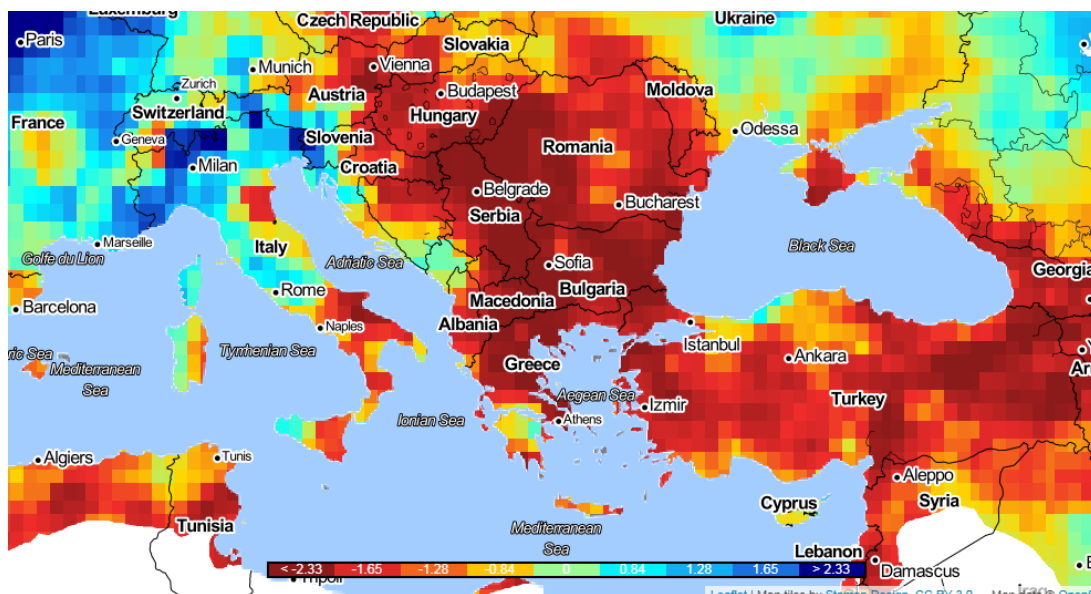


Figura 12: Mapa del índice SPEI correspondiente al mes de marzo de 2001. Imagen proporcionada por la página web <http://spei.csic.es/map/maps.html>

La rapidez e intensidad de las condiciones de sequía fueron consecuencia de un agudo déficit en las precipitaciones, y de temperaturas por encima de lo normal durante los 6 meses precedentes a ese valor máximo. Por ejemplo, en los mapas de anomalías de la precipitación correspondientes al otoño e invierno precedentes, se observan las abundantes precipitaciones caídas en la Europa Occidental y su escasez en la Europa Oriental durante el otoño, situación que se repitió, aunque de manera menos acusada, en invierno (Figura 13).

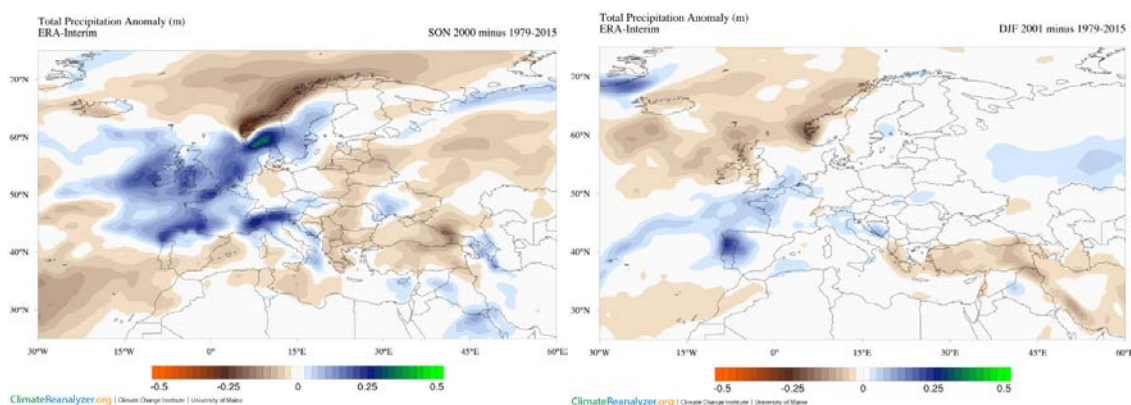


Figura 13: Mapas de anomalías de la precipitación correspondientes al otoño de 2000 e invierno de 2001. Imagen extraída de la página web [https://climatoreanalyzer.org/reanalysis/monthly\\_maps/](https://climatoreanalyzer.org/reanalysis/monthly_maps/)

Los mapas de anomalías de la temperatura para el mismo periodo muestran, en primer lugar, unas anomalías térmicas muy elevadas en centro y norte de Europa durante el otoño de 2000, que se extendieron por los Balcanes y el S de Rusia en invierno de 2001 (Figura 14).



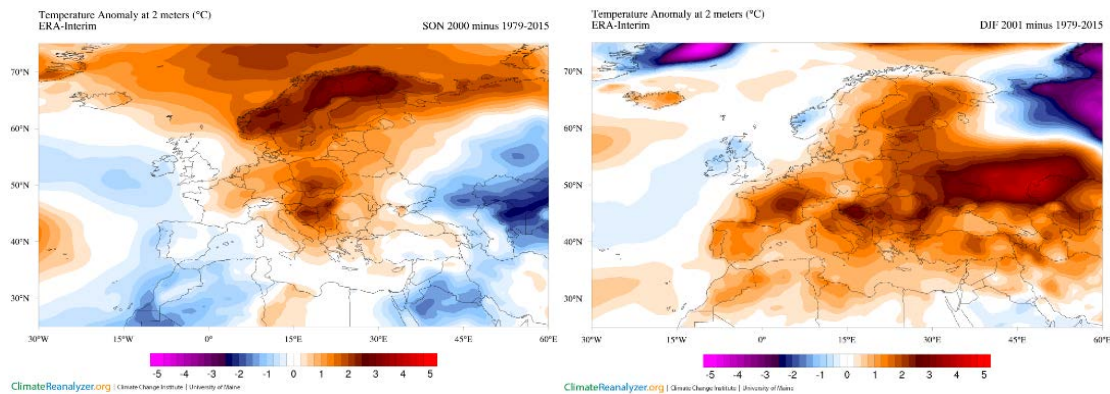


Figura 14: Mapas de anomalías de la temperatura correspondientes al otoño de 2000 e invierno de 2001. Imagen extraída de la página web [https://climaterenalyzer.org/reanalysis/monthly\\_maps/](https://climaterenalyzer.org/reanalysis/monthly_maps/)

Desde el punto de vista de la dinámica atmosférica, estas anomalías climáticas se debieron al paso de numerosas borrascas sobre las Islas Británicas y Europa Occidental. Estas bajas presiones dirigieron aire templado y húmedo procedente del Atlántico y del Mediterráneo hacia el interior de Europa. Sin embargo, debido a la disposición N-S de las montañas, estas masas de aire chocan con las cordilleras de Rila, Ródope y Stara Planina, depositando allí la mayor parte de la precipitación, por lo que llegan cálidas y secas a los valles situados más al E (“efecto föhn”; Figura 15).

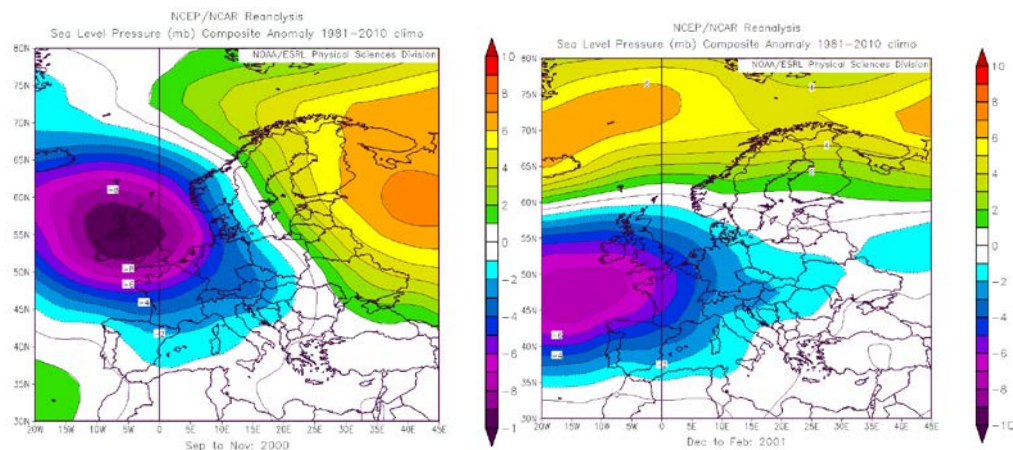


Figura 15: Mapa de anomalías de la presión atmosférica en otoño (SON) del año 2000 y en invierno del año 2001 (DEF). Imagen proporcionada por la página web <http://www.esrl.noaa.gov/psd/> (NOAA/ESRL Physical Sciences Division, Boulder Colorado).

#### 4.3.2. Sequía de 2006-2009

El segundo episodio de sequías seleccionado tuvo una duración de 35 meses, comenzando en octubre de 2006 y terminando en noviembre de 2009 (Figura 16). Pese a una duración similar al anterior, este episodio muestra algunas diferencias. Por un lado, su menor intensidad general y por otro, una duplicación de los momentos de máxima intensidad, separados por un periodo intermedio de amortiguación. El primer máximo tuvo una duración de 19 meses, con un máximo en julio de 2007 (SPEI -1,807, el valor más extremo), mientras que el segundo periodo fue de menor intensidad y duración (16 meses y -1,625 en diciembre de 2009).

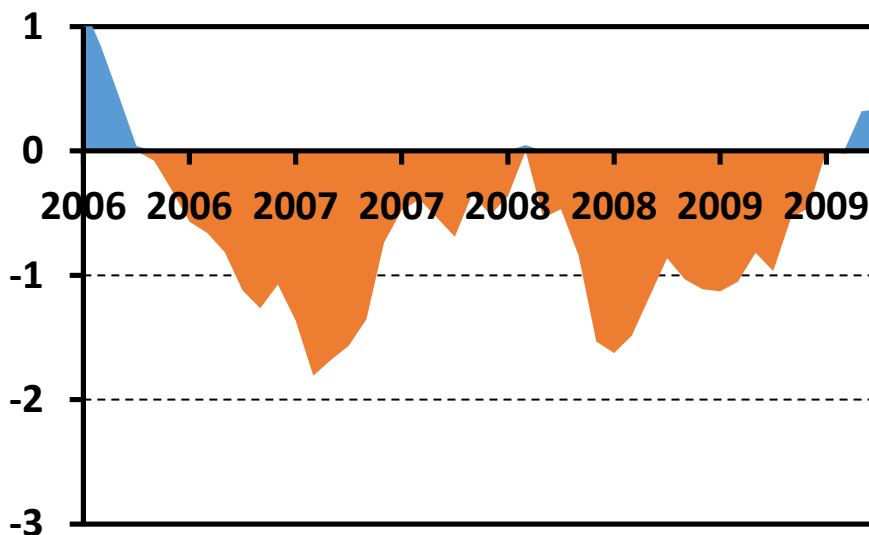


Figura 16: Evolución temporal del índice SPEI correspondiente al periodo 2006-2009.

El mapa correspondiente al mes de julio de 2007 (Figura 17) muestra que este episodio afectó sobre todo a toda la costa situada alrededor del Mar Negro, a Centroeuropa (Austria, Hungría) y a Italia. A las condiciones de menor intensidad se añade el que los valores extremos de sequía no fueron tan homogéneos como en el caso anterior, apreciándose regiones que experimentaron condiciones menos rigurosas, como, por ejemplo, Transilvania, situada al NW de Rumania. En el caso de Bulgaria, todo el territorio próximo a las costas del mar Negro y la llanura danubiana muestran una mayor intensidad de la sequía frente a zonas, como el valle del Struma, al S del país, que no se vio tan afectado.

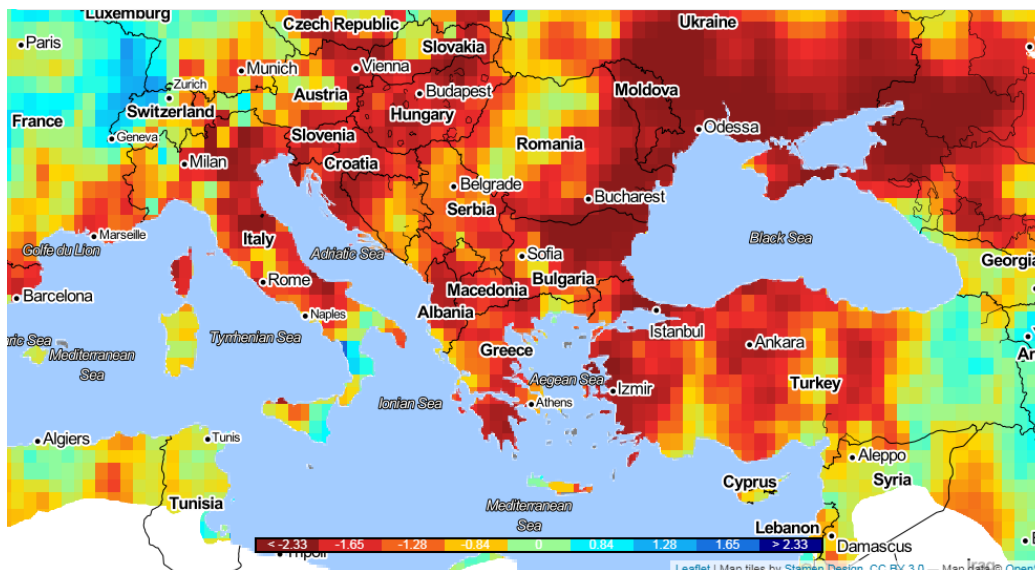


Figura 17: Mapa del índice SPEI correspondiente al mes de julio de 2007. Imagen proporcionada por la página web <http://spei.csic.es/map/maps.html>

Los mapas de anomalías de la precipitación correspondientes a la primavera y verano del año 2007 corroboran la ausencia de precipitaciones, siendo esta circunstancia particularmente evidente en verano (Figura 18). Sin embargo, el verano no suele ser un periodo excesivamente lluvioso en Bulgaria, razón que explicaría una menor intensidad de la sequía durante este momento del año.

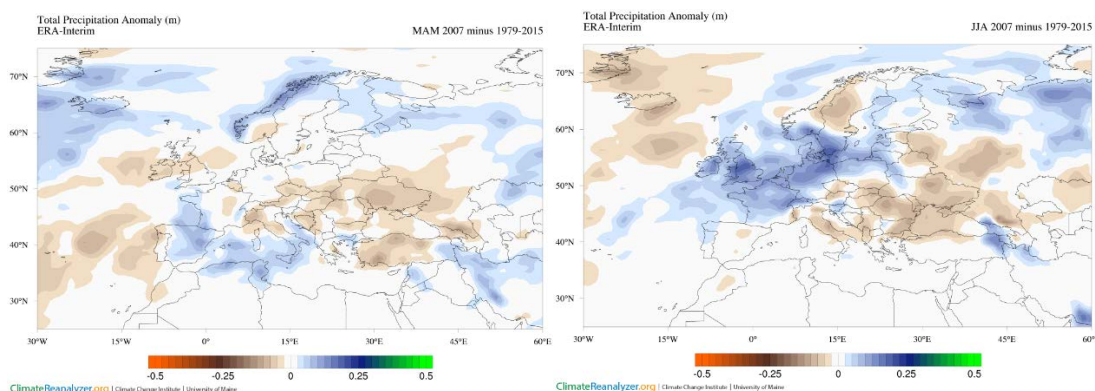


Figura 18: Mapas de anomalías de la precipitación correspondientes a la primavera y verano de 2007. Imagen extraída de la página web [https://climaterenalyzer.org/reanalysis/monthly\\_maps/](https://climaterenalyzer.org/reanalysis/monthly_maps/)

En el caso de las temperaturas, obsérvese que las zonas más cálidas se situaron en primavera de 2007 al N de Bulgaria, desplazándose e intensificándose hacia el S en el verano (Figura 19). Esto es consecuencia de una serie de olas de calor que azotaron los Balcanes en el verano de 2007, con temperaturas máximas por encima de los 40°C durante muchos días, causando algunas víctimas entre la población anciana (Mircheva et al, 2017).

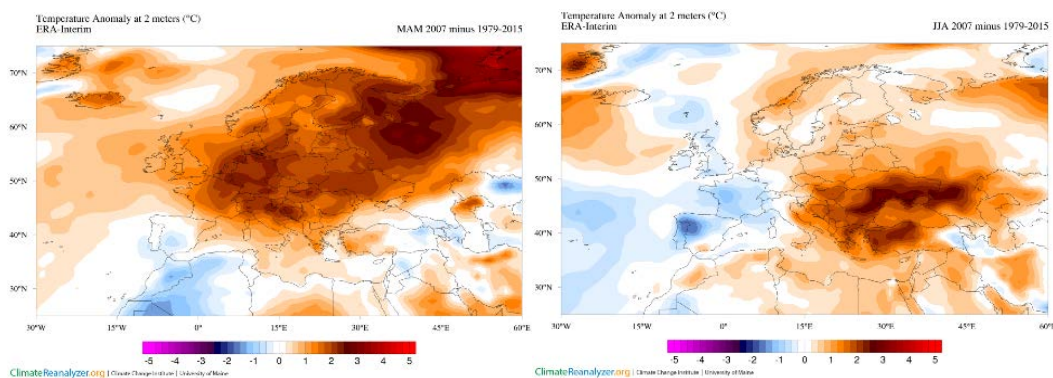


Figura 19: Mapas de anomalías de la temperatura correspondientes a la primavera y verano de 2007. Imagen extraída de la página web [https://climaterenalyzer.org/reanalysis/monthly\\_maps/](https://climaterenalyzer.org/reanalysis/monthly_maps/)

La circulación atmosférica dominante en verano explica de manera más evidente las características de la sequía de 2007 y su relación con los patrones espaciales de temperaturas y precipitaciones. Durante dicho verano, gran parte de Europa Occidental estuvo recorrida por borrascas, que, nuevamente, arrastraron masas de aire templado y húmedo a esta región. Estas masas de aire llegaron modificadas a Europa Oriental, tras atravesar un continente que, al estar en verano muy cálido, altera las masas de aire, sufriendo además una modificación adicional al atravesar las cordilleras mencionadas en líneas anteriores.

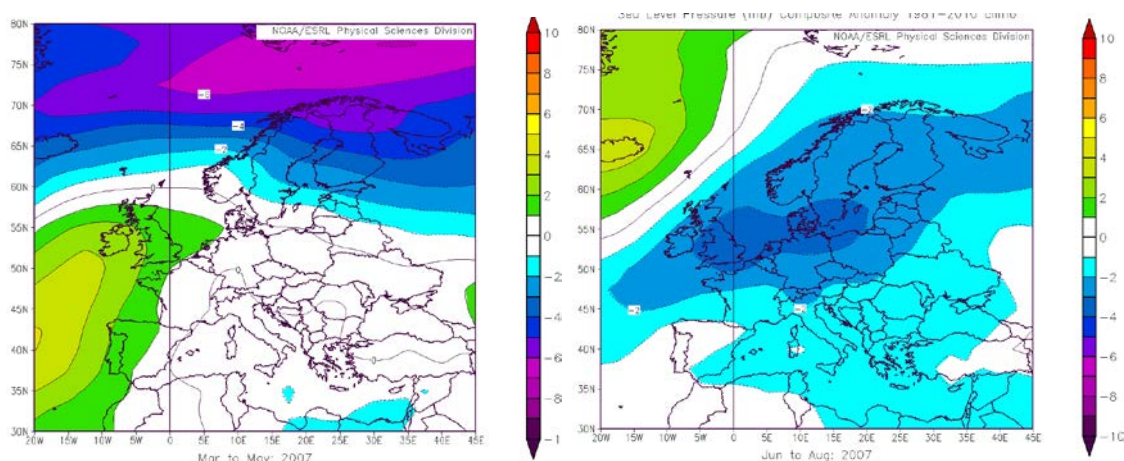


Figura 20: Mapa de anomalías de la presión atmosférica en primavera y verano de 2007. Imagen proporcionada por la página web <http://www.esrl.noaa.gov/psd/> (NOAA/ESRL Physical Sciences Division, Boulder Colorado).

#### 4.3.3. Sequía de 2011-2014

El último periodo de sequía seleccionado fue el más largo (41 meses) pero el menos intenso de los tres analizados (Figura 21). Además, la progresión de las condiciones de sequedad fue



más lenta y alterada por episodios de menor rigor. Por ejemplo, el primer mínimo relativo se produjo en septiembre de 2011 (SPEI -1,124), seguido de otro en octubre de 2012 (SPEI -1,618, el más intenso de los tres) y finalmente, se aprecia un mínimo relativo en febrero de 2014, con una intensidad de -1312.

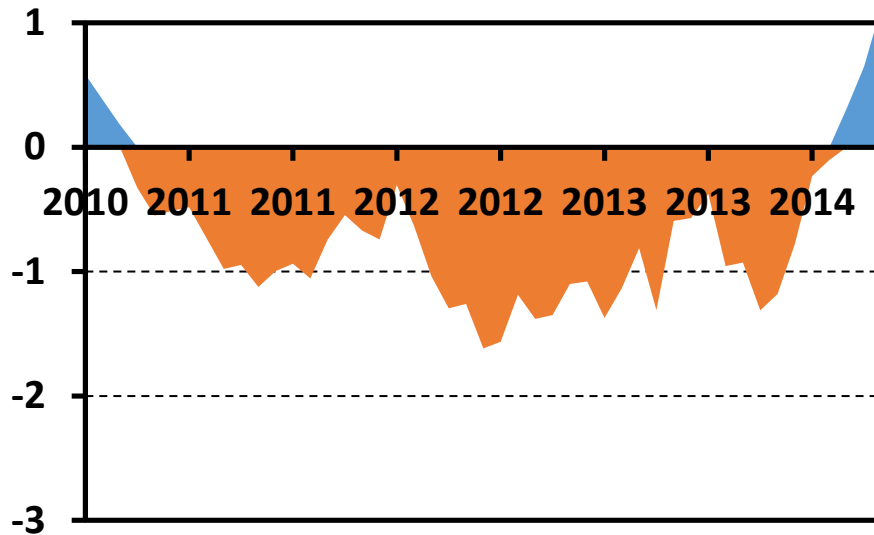


Figura 21: Evolución temporal del índice SPEI correspondiente al periodo 2011-2014.

El mapa correspondiente a la distribución espacial del índice SPEI en octubre de 2012 muestra una gran heterogeneidad espacial, especialmente en los Balcanes (Figura 22). La sequía fue un fenómeno intenso y evidente en Ucrania, SW de Rusia y llanura danubiana, pero en los Balcanes conviven áreas con intensos déficits hídricos junto con áreas de superávit, como en Grecia. La relativamente baja intensidad de la sequía, junto con esta heterogeneidad espacial, permite considerar este episodio de sequía como una suma de fenómenos de ámbito local, más que generalizado. En el caso de Bulgaria las condiciones fueron rigurosas en la Llanura Danubiana y valle del Marizta, siendo más intensa cuanto más al este del país.

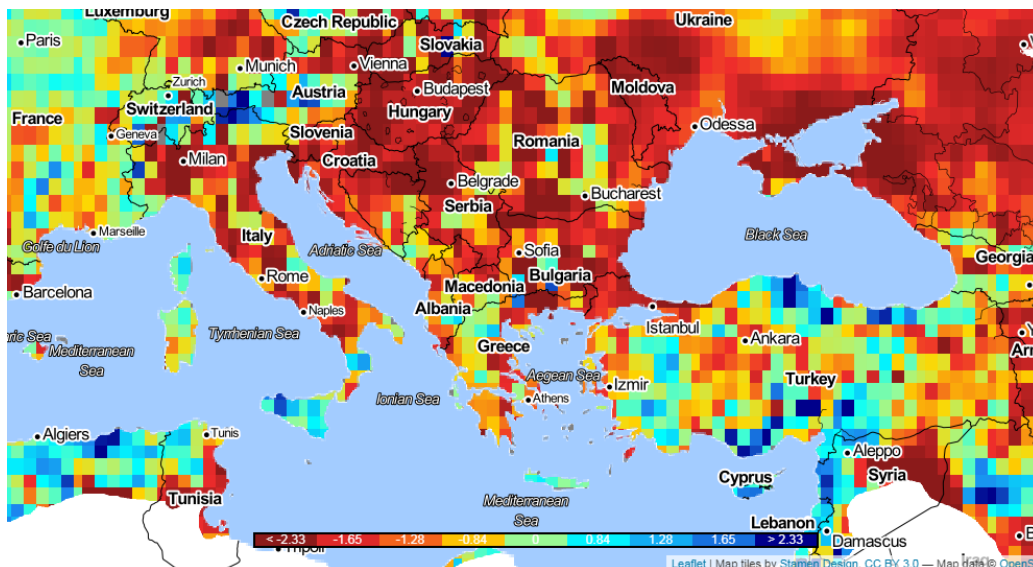


Figura 22: Mapa del índice SPEI correspondiente al mes de octubre de 2012. Imagen proporcionada por la página web <http://spei.csic.es/map/maps.html>

Los mapas de anomalías de la precipitación en verano y otoño de 2012 explican en cierta manera las características particulares de este episodio de sequía (Figura 23). Las anomalías más intensas se obtuvieron en verano, pero cabe recordar que el verano es el periodo de menor cuantía de las precipitaciones en Bulgaria, por lo que una disminución no tiene un papel tan relevante como en otros momentos del año; en otoño, por el contrario, las anomalías de la precipitación en Bulgaria y países circundantes fueron más reducidas, particularmente en toda la costa del Adriático y en el Egeo.

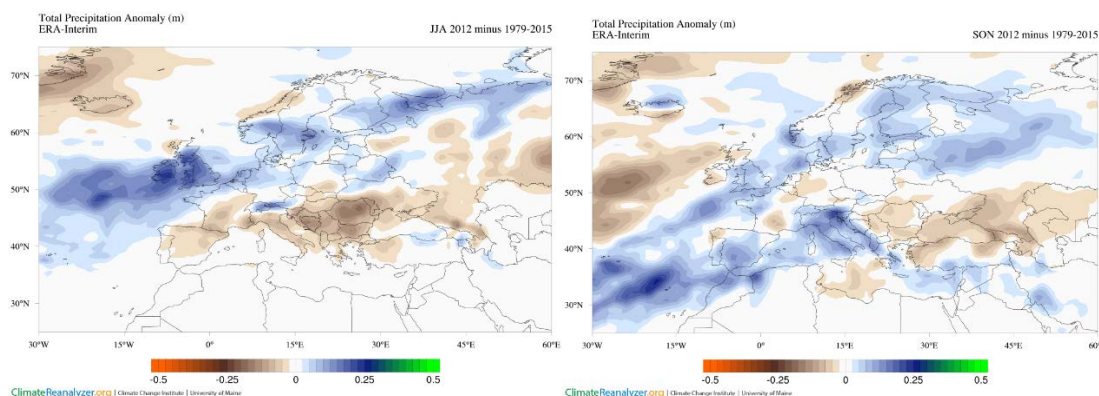


Figura 23: Mapas de anomalías de la precipitación correspondientes al verano y otoño de 2012. Imagen extraída de la página web [https://climatoreanalyzer.org/reanalysis/monthly\\_maps/](https://climatoreanalyzer.org/reanalysis/monthly_maps/)

Dado que las cantidades de precipitación recogidas en los meses previos no parecen ser muy diferentes de las habituales, cabe pensar que los elevados valores del índice SPEI pueden haber sido consecuencia del otro componente del índice, la temperatura. Así parecen mostrar

los dos mapas de anomalías de la temperatura, tanto la estival como la otoñal, en 2012. Sobre gran parte de Europa Oriental las temperaturas fueron aproximadamente 4°C por encima de lo normal, sobre todo en otoño (Figura 24).

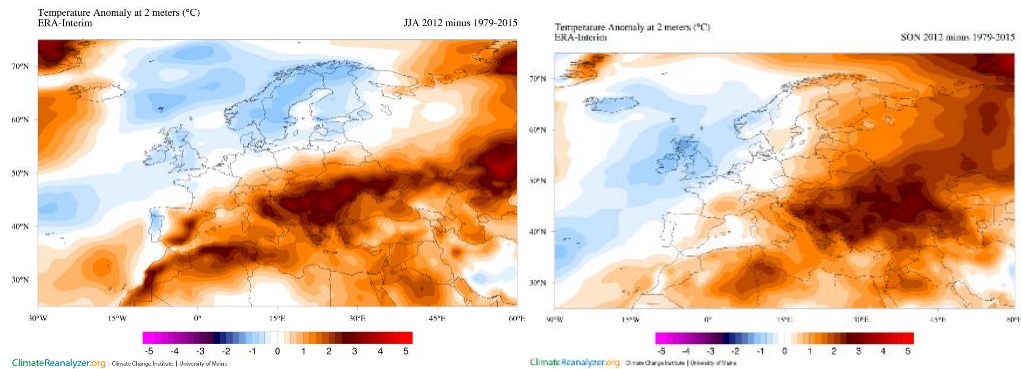


Figura 24: Mapas de anomalías de la temperatura correspondientes al verano y otoño de 2012. Imagen extraída de la página web [https://climatereanalyzer.org/reanalysis/monthly\\_maps/](https://climatereanalyzer.org/reanalysis/monthly_maps/)

De los mapas de anomalías de la presión a nivel del mar correspondientes al verano y otoño, el más significativo es el último, dado que muestra un patrón espacial que se repite en las tres sequías analizadas (Figura 25): una circulación predominantemente ciclónica sobre Europa Occidental o Septentrional dirige masas de aire templado y húmedo hacia Europa Oriental, dónde obligadas a rebasar las diversas cadenas montañosas, experimentan transformaciones que conducen a un aumento de las temperaturas y a una reducción considerable de la precipitación.

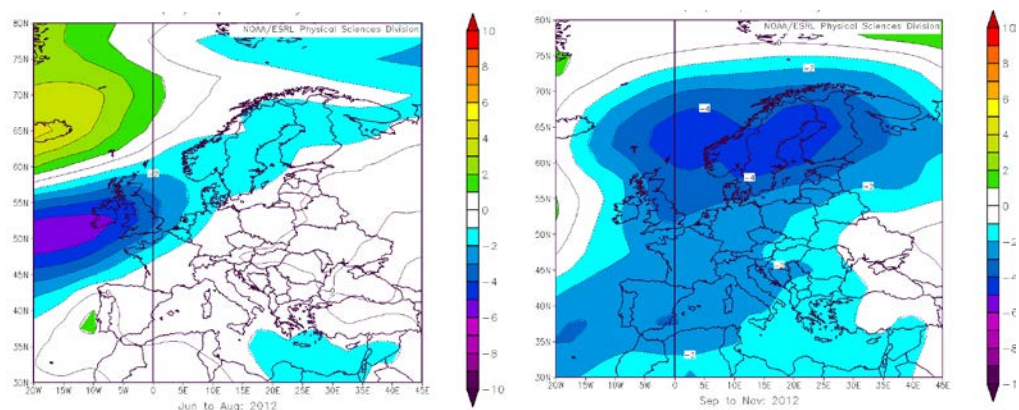


Figura 25: Mapa de anomalías de la presión atmosférica en verano y otoño de 2012. Imagen proporcionada por la página web <http://www.esrl.noaa.gov/psd/> (NOAA/ESRL Physical Sciences Division, Boulder Colorado).

Como se ha señalado en líneas anteriores, los episodios de sequía seleccionados se encuentran entre los más intensos experimentados en Bulgaria desde mediados de los años

50, pero no presenten las mismas características. La ocurrida entre 1999 y 2002 fue la más corta y más intensa de las tres, a lo que se añade una gran homogeneidad desde el punto de vista espacial, afectando con un rigor similar a toda la zona oriental de Europa y de los Balcanes. A medida que la magnitud de las sequías disminuye, como ocurrió en las sequías de 2006-2009 y 2011-2014, la distribución espacial del índice SPEI es menos homogénea, al igual que su evolución en el tiempo, ya que aparecen periodos intermedios en los que un mes o dos meses de precipitaciones normales pueden reducir el valor del índice SPEI, que en ese caso depende más de la temperatura.

#### **4.4 IMPACTOS**

Una vez analizadas las principales características de los episodios de sequía meteorológica en Bulgaria en términos de duración, intensidad y causas atmosféricas, pasaremos a revisar sus impactos. Dos son los sectores sobre los que realizaremos mayor énfasis: impactos en los cultivos (sequía meteorológica) y en los recursos hídricos (sequía hidrológica).

##### **4.4.1. Impactos en la agricultura.**

El sector agrícola es, con seguridad, el más afectado por el fenómeno de la sequía, ya que el crecimiento de las plantas depende de un aporte de agua y de unas temperaturas apropiadas. Cuando estas condiciones fallan, comienza la sequía agrícola, que rebasado cierto umbral, conduce indefectiblemente a la sequía económica. Pero a diferencia de la sequía meteorológica, dado que las necesidades son diferentes para cada cultivo (pudiendo variar a lo largo de su ciclo vital) y las características físicas y biológicas de los suelos, no es posible establecer umbrales de sequía agrícola válidos ni tan siquiera para un área geográfica. Por ejemplo, déficits hídricos durante las fases iniciales del crecimiento en los niveles profundos del suelo no suelen causar problemas si la capa superficial del suelo contiene cierta humedad; si los déficits en los niveles profundos persisten, los cultivos comienzan a sufrir condiciones de estrés hídrico que conducen a su deterioro y a la muerte fisiológica de la planta, al alcanzar un punto de marchitez permanente que le impide la extracción de agua del suelo. Igualmente, en cultivos de secano la relación con la sequía meteorológica es muy estrecha, aunque suele existir un pequeño desfase temporal cuya duración depende de la capacidad de retención de humedad del suelo. Por el contrario, en zonas de regadíos la sequía agrícola está más vinculada a la sequía hidrológica, con lo que el desfase cronológico es mucho mayor.

El impacto que tuvieron los episodios de sequía analizados en el capítulo anterior sobre el sector agrícola se analiza comparando, en primer lugar, los resultados del índice SPEI con



los del índice NDVI, que cuantifica el estado de salud de la vegetación sobre una zona, y, en segundo lugar, comparado el citado índice meteorológico con información estadística del rendimiento medio anual anuales de los cultivos en Bulgaria, entre 2000 y 2015. La información manejada no tiene en cuenta que existen muy diferentes tipos de vegetación, con ritmos de desarrollo diferentes, pero puede considerarse que, en una primera aproximación, ese índice regional es una buena aproximación al estado de salud de los cultivos en Bulgaria, dado que una gran parte de la superficie del país está ocupada por campos de cultivo. Como se ha señalado en el apartado 2, en unas condiciones óptimas de la vegetación, los valores el NDVI son altos; por el contrario, en condiciones de sequía, la vegetación no puede desarrollarse plenamente, en cuyo caso el valor del índice NDVI es bajo. Sin embargo, en la figura 26 se muestra la evolución temporal (2000-2015) del citado índice sobre Bulgaria en forma de anomalías con respecto al valor medio en cada uno de los periodos de 8 días en los que se divide el año, con el fin de eliminar el ciclo mensual resultado del comportamiento fisiológico de las plantas, y resaltar los episodios anómalos, ligados en este caso a las sequías. A lo largo del periodo analizado, junto a una tendencia creciente en el valor del índice NDVI, pueden observarse diferentes episodios en los que el índice alcanzó valores por encima o por debajo de lo habitual. La mayor parte de los valores positivos (en color azul), indicativo de condiciones favorables para el desarrollo de la vegetación, se sitúan al final de la serie temporal, mientras que los valores negativos (naranja) aparecen sobre todo al inicio de la serie temporal, coincidiendo con el episodio de sequía de 2000-2002. Durante este último se alcanzaron los valores más bajos de la serie, indicativo de la intensidad de ese episodio de sequía. También aparece claramente señalado el episodio de sequía que se desarrolló hacia 2012, aunque la anomalía del índice NDVI fue inferior al anterior. Por el contrario, cabe destacar que la sequía meteorológica del 2007 no registra valores especialmente significativos del índice NDVI.

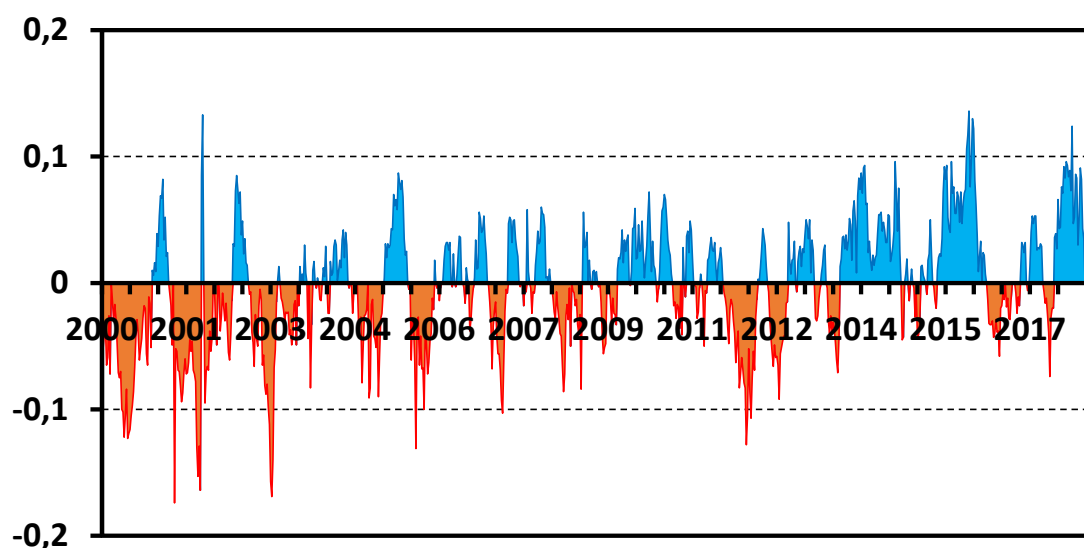


Figura 26: Evolución temporal (anomalías de 8 días) del índice NDVI sobre Bulgaria entre 2000 y 2015. Fuente: <https://glam1.gsfc.nasa.gov/> (Global Agricultural Monitoring System).

El análisis del impacto de las sequías en el estado de la vegetación realizado anteriormente muestra comportamientos cíclicos, relacionados con el desarrollo de los cultivos a lo largo del año. Conocer este ciclo permite evaluar mejor los efectos de la sequía sobre la vegetación (Figura 27). El ciclo promedio de la vegetación (línea negra) muestra valores bajos del índice (aproximadamente 0,4) en invierno, como consecuencia de estado vegetativo de reposo; en el caso de Bulgaria, la primavera, y con ella, el despertar de la vegetación comienza a mediados de marzo y rápidamente alcanza su máximo en junio, superando el valor de 0,7, reflejando el predominio de las superficies agrarias ocupadas por cereal. Posteriormente, comienza un periodo de lento descenso asociado a la recogida de las cosechas. Este ciclo, como es lógico, presenta una considerable variabilidad (banda gris), que refleja la diversidad topográfica, climática y de usos de suelo del país. Además del ciclo medio anual, aparecen reproducidas la evolución temporal del índice durante 4 de los años que sufrieron las sequías más intensas.

Una primera comparación en cada uno de esos años muestra una diversidad de comportamientos temporales, dentro de la ya mencionada diferente intensidad de cada episodio. Por ejemplo, durante el año 2000 (línea roja) los valores del índice NVDI fueron los más bajos de todo el periodo de análisis (equivalen al límite inferior de la línea gris), y persistieron a lo largo del verano y otoño. El año siguiente, 2001, también muestra valores inferiores a la media a largo plazo, ya que desde el punto de vista meteorológico persistía las

condiciones de sequía, pero el ritmo anual fue algo diferente. Así, durante el invierno y comienzo de primavera fueron más elevados de lo habitual, tal vez reflejo de un invierno benigno; esto se tradujo también en un adelanto del periodo de máximo desarrollo de la vegetación en unas dos semanas con respecto a lo habitual. Posteriormente, los valores de NVDI volvieron a descender y persistieron a lo largo del resto del año, extendiéndose al invierno. 2012 experimentó un patrón ligeramente diferente, con valores muy bajos en invierno (en correspondencia con un invierno frío y nivoso), un rápido incremento de la productividad vegetal que alcanzó un máximo muy elevado en junio y un rápido decrecimiento posterior, por efecto de la sequía. 2007 es el año más singular. No sólo la intensidad del estrés fisiológico de las plantas fue menor, sino que además la máxima intensidad de la sequía agrícola se produjo durante el periodo de cosecha, correspondiente a los meses de junio y julio. A partir de agosto se produjo un ascenso del índice, que estuvo en relación con un episodio de precipitaciones que limitó la intensidad del estrés fisiológico de las plantas.

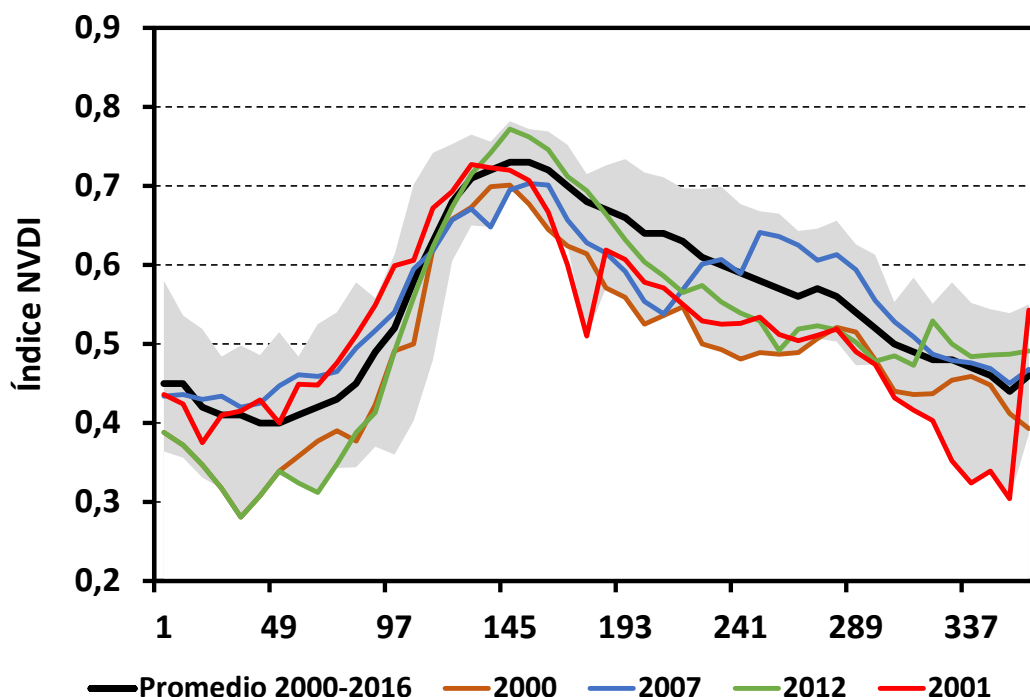


Figura 27: Ciclo anual (días desde el 1 de enero) del índice NDVI sobre Bulgaria correspondiente a los años de máxima sequía meteorológica. Fuente: <https://glam1.gsfc.nasa.gov/> (Global Agricultural Monitoring System).

A las citadas diferencias en la intensidad y duración del estrés fisiológico de los cultivos se une una cierta diversidad en los patrones espaciales del índice NDVI durante cada uno de estos episodios. Para mostrar esta característica, se han seleccionado las imágenes correspondientes al mismo periodo de 8 días en cada uno de esos años, para hacer comparables la situación de la vegetación en una misma fecha, en este caso, la de la última semana de julio y primera de agosto, aproximadamente durante la recogida de la cosecha. Por ejemplo, en el mapa correspondiente al año 2000 (Figura 28) la mayor parte del territorio búlgaro estaba ocupado por anomalías negativas del índice NDVI en relación con los valores habituales del periodo 2000-2018. Las más intensas correspondieron a las llanuras agrícolas del Danubio, al N, y al tramo inferior del valle del Maritza y llanuras de Tracia, las regiones agrícolas del país. Existen, no obstante, algunos puntos con valores positivos, cerca del delta del Danubio, que probablemente corresponden a cultivos de regadío. Las áreas de montaña muestran valores próximos a lo normal, como corresponde al predominio de vegetación arbórea, cuya respuesta en términos fisiológicos a la sequía es menos inmediata que los cultivos. Destaca igualmente que el valle del río Struma, tampoco ofrecía valores diferentes a los normales, pese a su clima mediterráneo.



Figura 28: Mapa de anomalías del índice NDVI correspondiente a la semana entre el 26 de julio y el 2 de agosto de 2000. Imagen proporcionada por la página web <https://glam1.gsfc.nasa.gov/> (Global Agricultural Monitoring System).

Las imágenes correspondientes al mismo periodo del año en 2007 y 2012 muestran un patrón espacial similar, aunque se aprecian diferencias de detalle, que indican que la respuesta local de la sequía agrícola a unas condiciones de sequía meteorológica a escala regional o

continental no es idéntica. Por ejemplo, en 2007, la mayor incidencia de la sequía agrícola se observa al N, a orillas del Danubio, con anomalías negativas próximas al 80 %, aunque poco después, un episodio de precipitaciones amortiguó esos valores negativos.

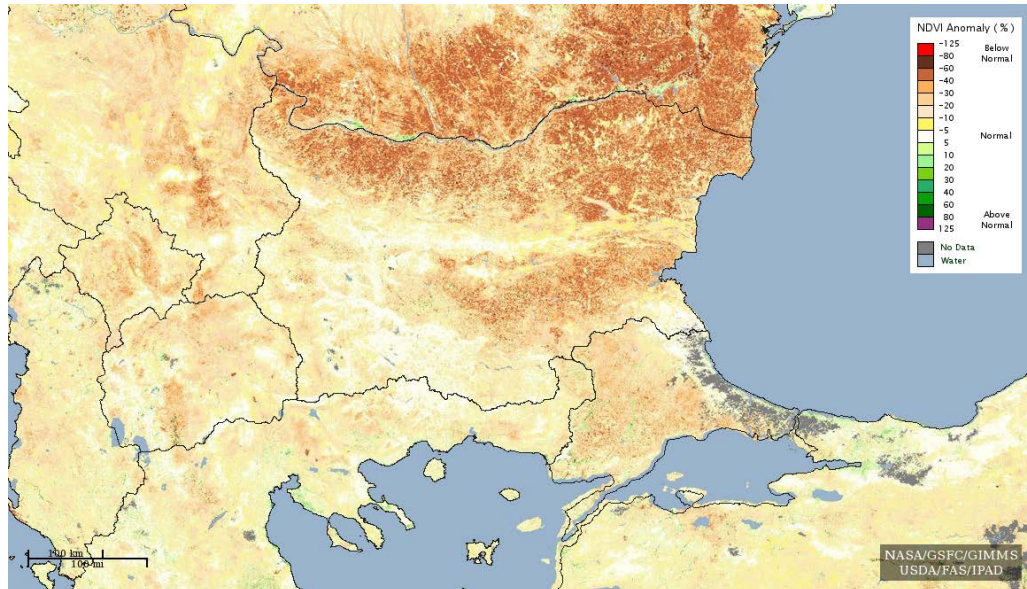


Figura 29: Mapa de anomalías del índice NDVI correspondiente a la semana entre 26 de julio y el 2 de agosto de 2007. Imagen proporcionada por la página web <https://glam1.gsfc.nasa.gov/> (Global Agricultural Monitoring System).

En 2012 la intensidad de la sequía agrícola en ese momento del año era ligeramente inferior a la de 2007, pero ya hemos señalado que persistió durante el resto del verano y otoño. En definitiva, la respuesta de los cultivos a los déficits hídricos es compleja en el tiempo y en el espacio, requiriendo un análisis pormenorizado.



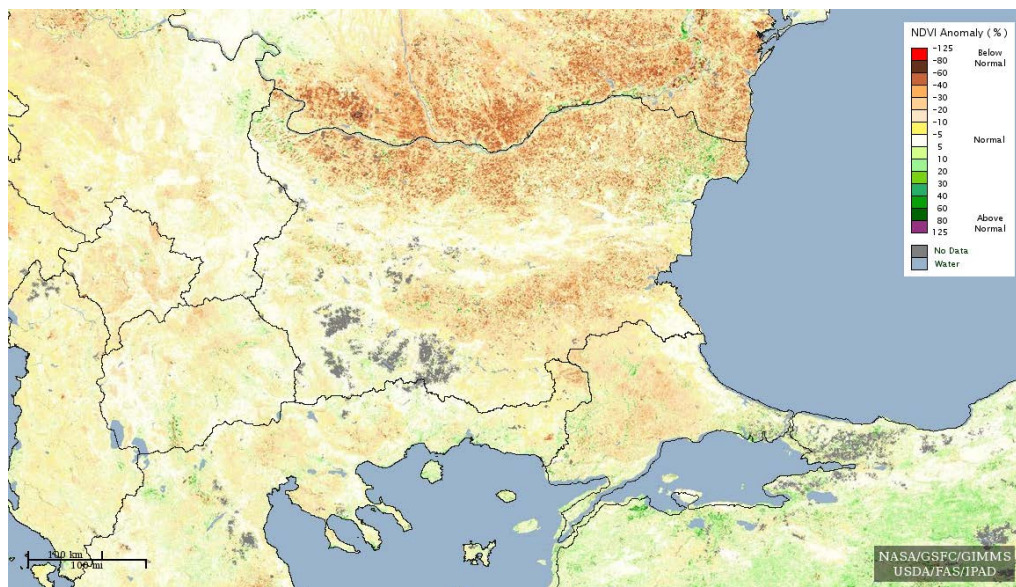


Figura 30: Mapa de anomalías del índice NDVI correspondiente a la semana entre 26 de julio y el 2 de agosto de 2012. Imagen proporcionada por la página web <https://glam1.gsfc.nasa.gov/> (Global Agricultural Monitoring System).

Por último, el impacto de la sequía meteorológica sobre los cultivos se estudió comparando la evolución del índice SPEI entre 2000 y 2014 y la estadística de rendimientos agrarios correspondiente al mismo periodo (Figura 31). Un primer análisis muestra una tendencia creciente en los rendimientos agrarios, que puede estar relacionada tanto con factores naturales (reducción a largo plazo de los déficits hídricos) como por una mejora en las prácticas agrícolas. Sobreimpuesta a dicha tendencia, 3 de los años con menores rendimientos, 2000, 2003, 2007, corresponden a años secos. El año 2012 muestra una ligera reducción de los rendimientos agrarios con respecto a los años anterior y posterior. La relación entre sequía (SPEI) y productividad es casi estadísticamente significativa, puesto que arroja un coeficiente de correlación de Pearson de -0,44.

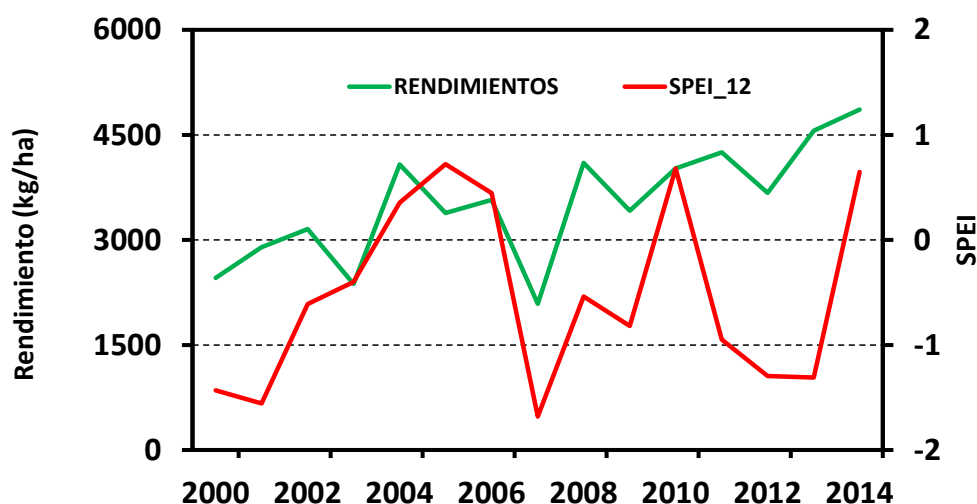


Figura 31: Evolución de los rendimientos agrarios de cereal y del índice SPEI (12 meses) de agosto en Bulgaria (2000-2014). Fuente: elaboración propia a partir de la base de datos <https://www.indexmundi.com/facts/bulgaria/cereal-yield> y de la base de datos SPEI.

	NDVI	PRODUCCION	RENDIMIENTOS
Coefficiente de correlación de Pearson	0,71**	0,30	0,44

Tabla 3: Coeficiente de correlación de Pearson y significación estadística entre el índice NDVI y la producción y los rendimientos de los cultivos en Bulgaria entre 2000 y 2015. \* Valor significativo al 95 %

Los resultados de este análisis permiten afirmar que, pese a los avances tecnológicos asociados a la agricultura, las condiciones atmosféricas constituyen todavía un importante factor a la hora de explicar variaciones en la disponibilidad de alimentos a escala regional y global.

#### 4.4.2. Los incendios forestales

Otro de los impactos conocidos de las sequías es un aumento del número de incendios forestales. La humedad del suelo y de los combustibles muertos influye de manera determinante tanto en el inicio como en la propagación de un incendio forestal; por lo tanto, ambos están condicionados por la sequía. Además, para protegerse de la sequía y disminuir la evapotranspiración, las plantas emiten etileno, un compuesto químico altamente inflamable, que multiplica el riesgo de incendios.

Los incendios forestales constituyen un fenómeno generalizado en los países de Europa Oriental. Aunque no adquiere las dimensiones de otros países, como Portugal, donde se han quemado, entre 2000 y 2015, 2216797 has en un total de 21964 incendios (European Fire Database, <http://effis.jrc.ec.europa.eu/applications/data-and-services/>), en Bulgaria los incendios son frecuentes (Figura 32). De hecho, según esas estadísticas, en el citado periodo se han quemado 186785 has en un total de 9997 incendios forestales. En comparación con sus países vecinos, Bulgaria se sitúa en tercer lugar, detrás de Grecia (696570 has y 23870 incendios) y Croacia (218007 has y 4534).

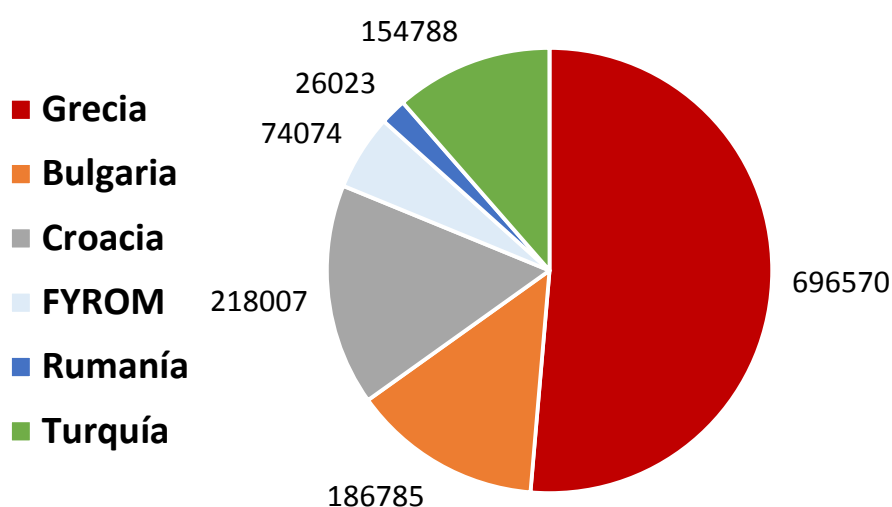


Figura 32: Superficie quemada (has) en el área de los Balcanes entre 2000 y 2015 (Fuente: European Fire Database, <http://effis.jrc.ec.europa.eu/applications/data-and-services/>).

En la figura 33 se observa cómo, entre 2000 y 2006, la evolución del número de incendios y de la superficie quemada presenta una reducción, en la que sobresalen 3 años, el año 2000, el año 2007 y el año 2012. La máxima actividad se produjo en 2000, con 1710 incendios y 57406 has; en 2007 se produjeron 1479 incendios y se quemaron 42999 has. Por último, en 2012 se registraron 876 incendios y se quemaron 12730 has. Los citados años de máxima actividad de los incendios forestales corresponden a años bajo condiciones de sequía. Cabe advertir que la sequía es un factor necesario, pero no el único, en la génesis de los incendios forestales. Otros factores, como las olas de calor y la mejora de los servicios de detección y extinción de incendios, pueden actuar en sentido negativo (incremento de los incendios) o positivo (reducción).



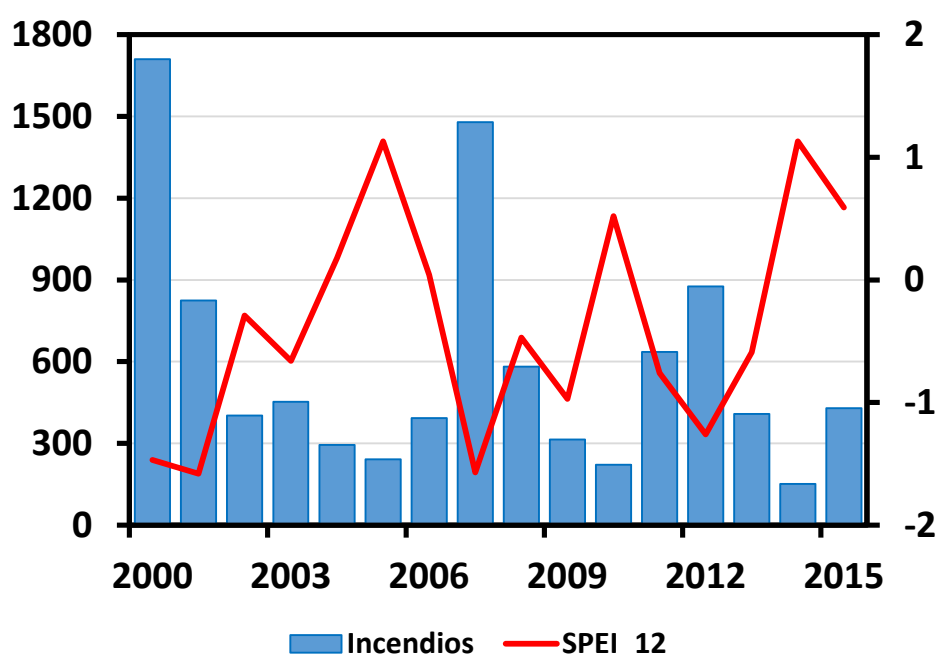


Figura 33: Superficie quemada (has) en Bulgaria e índice SPEI (12 meses, agosto) entre 2000 y 2015. Fuente Fire Information for Resource Management System (FIRMS; <https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/firms>)

La relación es además estadísticamente significativa al correlacionar el índice SPEI 12 tanto con la superficie quemada como con el número de incendios forestales, siendo ligeramente superior en este último caso.

	Superficie quemada	Número incendios forestales
Coeficiente de correlación de Pearson	-0,63 **	-0,75 **

Tabla 4: Coeficiente de correlación de Pearson y significación estadística entre el índice SPEI 12 (agosto) y la superficie quemada anual y el número de incendios forestales en Bulgaria entre 2000 y 2015. \* Valor significativo al 95 %

Como ejemplo de la elevada frecuencia de incendios durante veranos secos, el mapa de incendios forestales detectados por el sensor MODIS a lo largo de julio de 2007 muestra un importante número de focos, la mayoría concentrados en la llanura del Danubio y en la de Tracia. La causa de este patrón espacial está ligada a las prácticas agrícolas cerealistas: la quema de rastrojos, tras las cosechas. No obstante, no debe ser esta la única causa de los incendios forestales, ya que, en 2014, en ausencia de condiciones de sequía, los incendios se

repitieron, aunque limitados a la margen septentrional del Danubio, ya en Rumanía. Analizando asimismo el mapa de 2007 se aprecia como también hubo focos en las montañas (Balcanes sobre todo, algún foco aislado en los Rodopes y Rila), aunque su causalidad se desconoce.



Figura 34: Focos de incendios forestales detectados por el sensor MODIS a lo largo del mes de Julio de 2007. Fuente: Fire Information for Resource Management System (FIRMS; <https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/firms>)

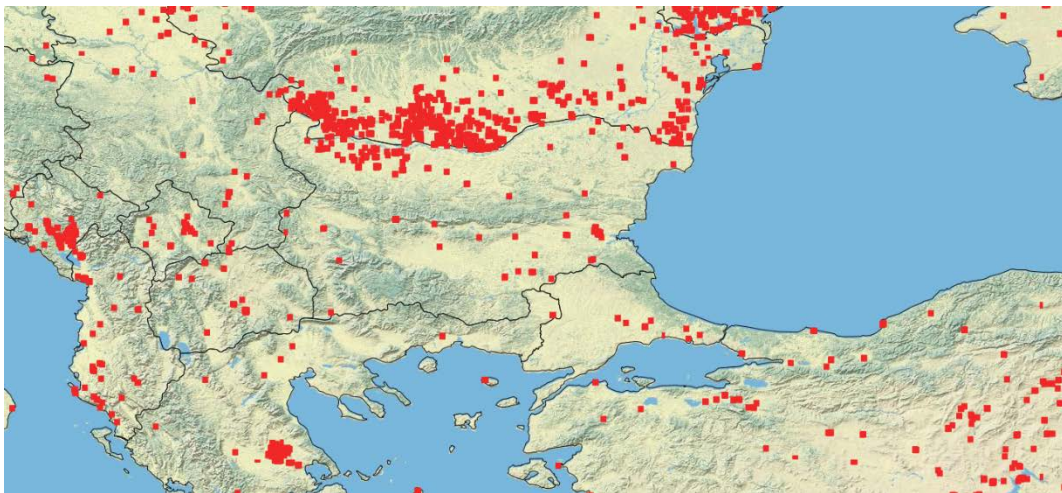


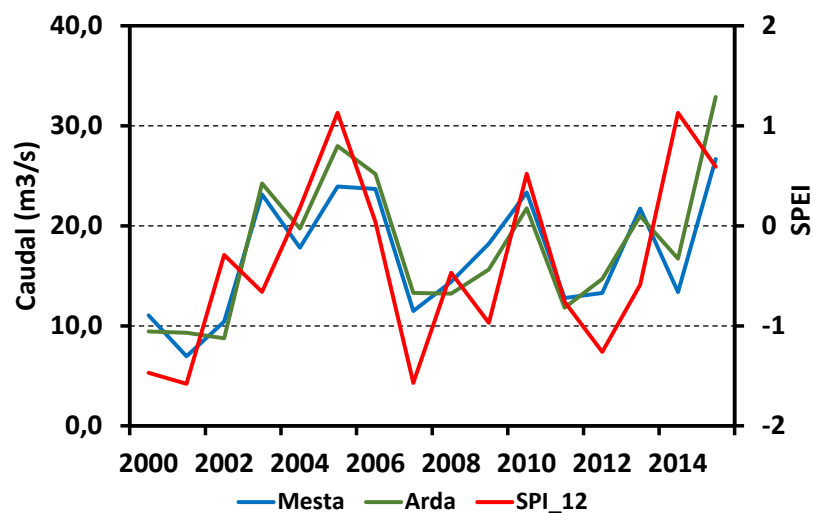
Figura 35: Focos de incendios forestales detectados por el sensor MODIS a lo largo del mes de Julio de 2014. Fuente: Fire Information for Resource Management System (FIRMS; <https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/firms>)

#### 4.4.3 Recursos hídricos

La reducción de las precipitaciones y el aumento de las temperaturas que conllevan las sequías causan una alteración de ciclo hidrológico, disminuyendo de manera relevante su

componente superficial, es decir, los caudales que circulan en ríos y arroyos. Esta relación entre sequía y recursos hídricos, bien documentada en gran parte del planeta, también aparece en Bulgaria. La figura 36 muestra la evolución simultánea del índice SPEI de 12 meses, correspondiente al mes de agosto, y el caudal de varios ríos de Bulgaria. Éstos se muestran en parejas; por un lado, los ríos Mesta y Arda (tributario del Maritza), que pertenecen a la vertiente del Egeo, y, por lo tanto, tienen una acusada componente mediterránea. Por otro lado, los ríos Lom y Provadiya pertenecen a la cuenca del Mar Negro, pero, como se ha señalado en el capítulo introductorio, el primero nace en la cadena de los Balcanes, a más de 2000 m de altitud, mientras que el segundo lo hace en la meseta de Ludogorie, aproximadamente a 500 m de altitud.

La observación visual de los gráficos muestra claramente una estrecha relación entre caudal de los ríos e índice SPEI, coincidiendo en la mayor parte de las cuencas los años más secos, por ejemplo 2000, 2007 y 2012, con los años de caudales más bajos. El uso del coeficiente de correlación de Pearson entre el índice SPEI y la serie temporal de caudales en cada río confirma la estrecha relación antes mencionada: Mesta 0,60; Arda 0,66, Provadiya 0,65 y Lom 0,65.



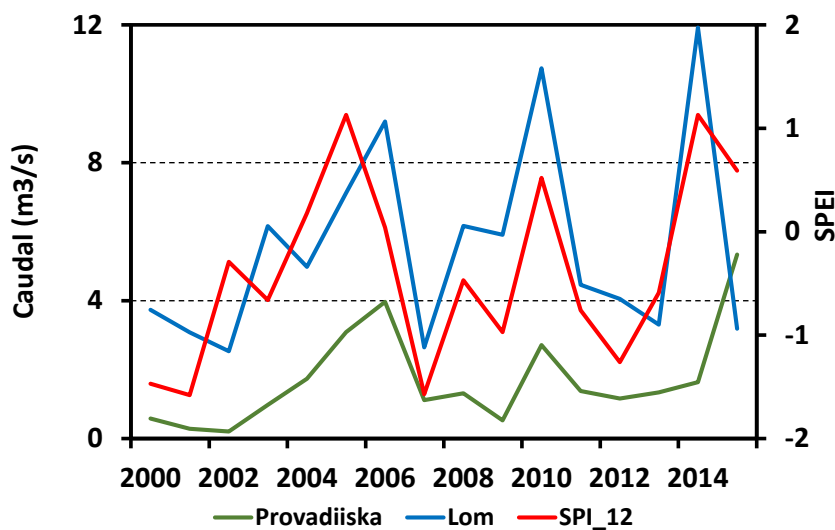


Figura 36: Evolución del caudal medio anual (m³/seg) de las cuencas del Egeo (Struma y Maritza, arriba) y del Mar Negro (Lom y Provadiya) y el índice SPEI (12 meses) correspondiente al mes de agosto. Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.

<http://www.meteo.bg/bg>

La reducción de precipitaciones en una secuencia temporal de varios años conlleva implicaciones importantes en las dos fases del ciclo hidrológico que el hombre ha modificado mediante obras de infraestructura hidráulica para satisfacer sus necesidades, es decir, embalses de regulación de aguas superficiales, y obras de captación de aguas subterráneas mediante sondeos y minados. No se dispone de información sobre el uso de aguas subterráneas ni sobre el estado de los embalses, pero sí del porcentaje que representa la producción de energía de origen hidroeléctrico, con el fin de evaluar el impacto de las sequías en las reservas hídricas del país. Cabe señalar que la producción de energía hidroeléctrica en Bulgaria es relativamente escasa, y complementaria a las principales fuentes de energía, que son la nuclear y el gas procedente de Rusia. Sin embargo, la disminución de los recursos hídricos y, consecuentemente, de energía hidroeléctrica, obliga al país a intensificar el uso de los reactores nucleares, aumentar las importaciones de gas o intensificar la producción de energía procedente de la quema de lignito. Estas últimas emiten gran cantidad de sustancias contaminantes, como por ejemplo la planta de Maritsa Iztok 2, considerada la infraestructura que causa los mayores daños a la salud y al medioambiente en toda Europa (<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/industrial-facilities-causing-the-highest-damage#tab-daviz-tabular>)

En la gráfica se compara la producción hidroeléctrica (línea azul) con el índice SPEI (línea roja). A primera vista las dos líneas siguen la misma tendencia en los altos y los bajos. Se observan dos picos de sequía en los años 2001-2002 y 2007-2008, y una brusca bajada en la producción hidroeléctrica, sobre todo en los años 2001-2002, cuando el periodo de sequía es más prolongado. También se puede ver como en el año 2007 a pesar de que el índice SPEI es muy bajo indicando la presencia de una sequía extrema, la producción eléctrica no experimenta una bajada tan brusca como en el episodio de 2001.

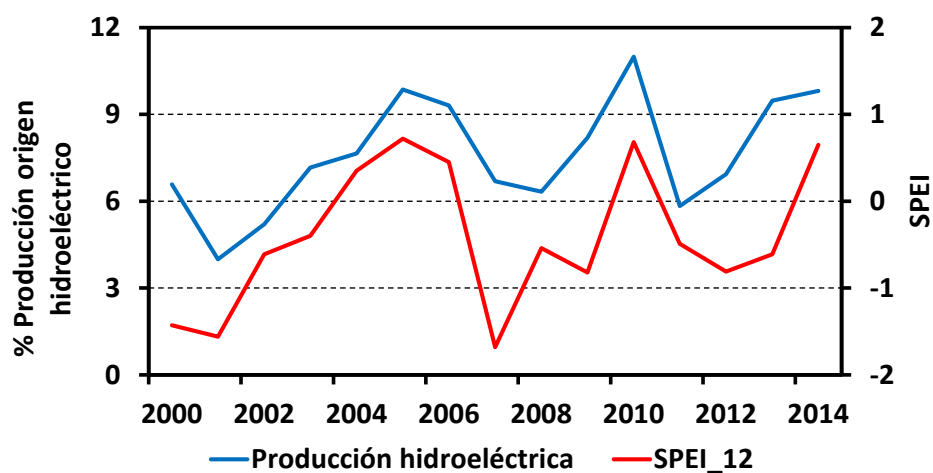


Figura 37: Evolución del porcentaje que representa la producción de energía de origen hidroeléctrico y el índice SPEI (12 meses) correspondiente al mes de septiembre en Bulgaria (2000-2014). Fuente:

<https://www.indexmundi.com/facts/bulgaria/indicator/EG.ELC.HYRO.ZS>

## 5. CONCLUSIONES

El objetivo fundamental de este trabajo ha sido el análisis de la evolución de las sequías en Bulgaria y sus impactos sobre dos sectores fundamentales: la agricultura y los recursos hídricos.

A lo largo de la mayor parte del siglo XX la evolución de temperaturas y precipitaciones alternó fases húmedas y secas, pero sin tendencia definida; sin embargo, desde los años 80, el país está inmerso en una fase cálida y seca. Esta fase cálida y seca ha favorecido que los episodios de sequía en Bulgaria sean cada vez más frecuentes, intensos y duraderos. La cuantificación y delimitación espacial y temporal de estos episodios se ha realizado mediante el análisis del índice SPEI (*Standardized Precipitation Evaporation Index*). Estos episodios suele ser el resultado de largos períodos de baja precipitación en condiciones climáticas cálidas y secas, causados por un predominio de situaciones atmosféricas estables.

Las sequías causan importantes impactos en el sector agrario, como se ha demostrado a través de la comparación del índice SPEI con el índice NDVI y con los rendimientos agrarios, mediante una reducción del desarrollo de las plantas. Igualmente, los periodos de sequía son favorables a un aumento de la frecuencia de los incendios forestales en el país. Por otro lado, las sequías reducen el caudal de los ríos, y a su vez una disminución en la producción hidroeléctrica, que, constituyendo un factor de vulnerabilidad del país, como consecuencia de su dependencia de la energía nuclear propia o de las importaciones de gas desde Rusia.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Alexandrov V (1999): Vulnerability and adaptation of agronomic systems in Bulgaria. *Climate Research* 12:161–173

Alexandrov V (ed) (2011) Methods for monitoring and estimation of drought vulnerability in Bulgaria. National Institute of Meteorology and Hydrology and Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, 216

Alexandrov VA y Hoogenboom G (2000): The impact of climate variability and change on crop yield in Bulgaria. *Agricultural Forest Meteorology* 104: 315–327.

Atanasova M, Diadovski I y Simeonov V (2009): Assessment of climate impact on the transboundary Struma river flow in bulgarian territory using integral indices. *Ecological Chemistry and Engineering* 16: 181-200.

Begueria S, Vicente- Serrano, S.M., Reig, F y Latorre, B (2013): Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring. *International Journal of Climatology* 34: 3001-3023.

Black, M. (2005). El secuestro del agua: la mala gestión de los recursos hídricos. Intermón Oxfam Editorial, Barcelona, 180 pp.

Droogers P y Allen RG (2002): Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions. *Irrigation and Drainage Systems* 16: pp 33–45.

Gibbs, W.J. y Maher, J.V. (1967): Rainfall deciles as drought indicators. Bureau of Meteorology Bulletin, 48. Commonwealth of Australia, Melbourne, 84 pp.

Hargreaves, GH. y Samani, ZA (1985): Reference crop evapotranspiration from temperature. *Transaction of ASAE* 1: 96-99.

IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

McKee TB, Doesken NJ y Kleist J (1993): The relationship of drought frequency and duration of time scales. Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Jan17-23, 1993, Anaheim CA: 179-186.

Naredo, J. M. (2006). La encrucijada de la gestión del agua en España. El agua en el siglo XXI: gestión y planificación. Zaragoza. Institución Fernando El Católico

Obasi, G.O.P., (1994): WMO's role in the International Decade for natural disaster reduction, *Bulletin of the American Meteorological Society* 75: 1655-1661.

Palmer, W.C. (1965): Meteorological drought. Research Paper N. 45, U. S. Department of Commerce Weather Bureau, Washington DC. 58 pp.

Pérez Cueva, A.J. (1983): La sequía de 1978-1982. ¿Excepcionalidad o inadaptación?, *Agricultura y Sociedad* 27: 225-245.

Rouse JW, Haas RA, Schell JA y Deering DW (1973): Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS Symposium, NASA SP-351: 309-317.

Ruiz, T y Febles G (2004). La desertificación y la sequía en el mundo. *AIA* 8: 1-11.

Sharov V., Ivanov P., Slavov N., Koleva E., Dakova S., Moralijski E., Peneva R., Gocheva A., Latinov L. and Alexandrov V., (1994). Drought in Bulgaria. Final report on contract No.NI-NZ-19/1991, Sofia, 80 pp.

Valiente OM (2001): Sequía: definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. *Investigaciones Geográficas* 26: 59-80.

Vicente-Serrano S.M., Santiago Beguería, Juan I. López-Moreno, (2010) A Multi-scalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index – SPEI. *Journal of Climate* 23: 1696-1718.

Vicente-Serrano, S.M., Lasanta, T., Gracia, C., (2010): Aridification determines changes in leaf activity in *Pinus halepensis* forests under semiarid Mediterranean climate conditions. *Agricultural and Forest Meteorology* 150: 614-628.

Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., Lorenzo-Lacruz, J., Camarero, J. J., López-Moreno, J. I., Azorín-Molina, C. y Sánchez-Lorenzo, A. (2012). Análisis comparativo de diferentes índices de sequía para aplicaciones ecológicas, agrícolas e hidrológicas. Cambio climático. Extremos e impactos. 8º Congreso Internacional de la Asociación Española de Climatología (AEC), Salamanca.

Vicente Serrano, Sergio; Beguería, S; Gimeno, L; Eklundh, L; Giuliani, G; Weston, D; El Kenawy, A; López-Moreno, JI; Nieto, R; Ayenewh, T; Konte, D; Ardö, J; Pegram, G (2012): Challenges for drought mitigation in Africa: The potential use of geospatial data and drought information systems. *Applied Geography* 34: 471-486.

Wilhite DA y Glantz MH (1985): Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. *Water International* 10: 111-120.

Wilhite, D.A., (2000): Drought: A Global Assessment. Routledge, New York. 243 pp.



## 7. ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS.

Figura 1: Parámetros descriptivos de las sequías	Página 8
Figura 2: Mapa topográfico de Bulgaria	Página 9
Figura 3: Temperatura media anual en Bulgaria	Página 10
Figura 4: Precipitación media anual en Bulgaria	Página 11
Figura 5: Climodiagramas correspondientes a las principales ciudades de Bulgaria	Página 12
Figura 6: Regímenes fluviales de ríos de Bulgaria	Página 13
Figura 7: Porcentaje de uso de agua en los diferentes sectores en Bulgaria.	Página 15
Figura 8: Evolución de las precipitaciones en Bulgaria entre 1900 y 2010	Página 19
Figura 9: Evolución de las temperaturas en Bulgaria entre 1900 y 2010.	Página 20
Figura 10: Evolución temporal del índice SPEI sobre Bulgaria entre 1951 y 2011.	Página 21
Figura 11: Evolución temporal del índice SPEI correspondiente al periodo 1999-2002.	Página 23
Figura 12: Mapa del índice SPEI correspondiente al mes de marzo de 2001	Página 24
Figura 13: Mapas de anomalías de la precipitación correspondientes al otoño de 2000 e invierno de 2001	Página 24
Figura 14: Mapas de anomalías de la temperatura correspondientes al otoño de 2000 e invierno de 2001.	Página 25
Figura 15: Mapa de anomalías de la presión atmosférica en otoño (SON) del año 2000 y en invierno del año 2001 (DEF)	Página 25
Figura 16: Evolución temporal del índice SPEI correspondiente al periodo 2006-2009.	Página 26
Figura 17: Mapa del índice SPEI correspondiente al mes de julio de 2007	Página 27
Figura 18: Mapas de anomalías de la precipitación correspondientes a la primavera y verano de 2007	Página 27
Figura 19: Mapas de anomalías de la temperatura correspondientes a la primavera y verano de 2007	Página 28
Figura 20: Mapa de anomalías de la presión atmosférica en primavera y verano de 2007	Página 28
Figura 21: Evolución temporal del índice SPEI correspondiente al periodo 2011-2014.	Página 29
Figura 22: Mapa del índice SPEI correspondiente al mes de octubre de 2012	Página 30
Figura 23: Mapas de anomalías de la precipitación correspondientes al verano y otoño de 2012	Página 30
Figura 24: Mapas de anomalías de la temperatura correspondientes al verano y otoño de 2012	Página 31
Figura 25: Mapa de anomalías de la presión atmosférica en verano y otoño de 2012	Página 31
Figura 26: Evolución temporal (anomalías de 8 días) del índice NDVI sobre Bulgaria entre 2000 y 2015.	Página 34

Figura 27: Ciclo anual (días desde el 1 de enero) del índice NDVI sobre Bulgaria correspondiente a los años de máxima sequía meteorológica.	Página 35
Figura 28: Mapa de anomalías del índice NDVI correspondiente a la semana entre el 26 de julio y el 2 de agosto de 2000.	Página 36
Figura 29: Mapa de anomalías del índice NDVI correspondiente a la semana entre 26 de julio y el 2 de agosto de 2007.	Página 37
Figura 30: Mapa de anomalías del índice NDVI correspondiente a la semana entre 26 de julio y el 2 de agosto de 2012.	Página 38
Figura 31: Evolución de los rendimientos agrarios de cereal y del índice SPEI (12 meses) de agosto en Bulgaria (2000-2014).	Página 39
Figura 32: Superficie quemada (has) en el área de los Balcanes entre 2000 y 2015	Página 40
Figura 33: Superficie quemada (has) en Bulgaria e índice SPEI (12 meses, agosto) entre 2000 y 2015.	Página 41
Figura 34: Focos de incendios forestales detectados por el sensor MODIS a lo largo del mes de Julio de 2007.	Página 42
Figura 35: Focos de incendios forestales detectados por el sensor MODIS a lo largo del mes de Julio de 2014.	Página 42
Figura 36: Evolución del caudal medio anual (m <sup>3</sup> /seg) de las cuencas del Egeo (Struma y Maritza, arriba) y del Mar Negro (Lom y Provadiya) y el índice SPEI (12 meses) correspondiente al mes de agosto.	Página 44
Figura 37: Evolución del porcentaje que representa la producción de energía de origen hidroeléctrico y el índice SPEI (12 meses) correspondiente al mes de septiembre en Bulgaria (2000-2014).	Página 45

## **TABLAS:**

Tabla 1: Tabla de categorización de los episodios secos del índice SPEI.	Página 16
Tabla 2: Resumen de las características temporales y la intensidad máxima de los periodos de sequía registrados en Bulgaria desde 1951.	Página 22
Tabla 3: Coeficiente de correlación de Pearson y significación estadística entre el índice NDVI y la producción y los rendimientos de los cultivos en Bulgaria entre 2000 y 2015	Página 39
Tabla 4: Coeficiente de correlación de Pearson y significación estadística entre el índice SPEI 12 (agosto) y la superficie quemada anual y el número de incendios forestales en Bulgaria entre 2000 y 2015	Página 41